



TITLE:

博士論文概要

AUTHOR(S):

CITATION:

博士論文概要. Cue 2014, 31: 35-62

ISSUE DATE:

2014-03

URL:

<https://doi.org/10.14989/187350>

RIGHT:

博士論文概要

[課程博士一覧]

単 麟	「Adaptive Radio Resource Allocation and Scheduling for Wireless Networks」 (無線ネットワークにおける適応無線資源割当とスケジューリングの研究)	平成 24 年 5 月 23 日
夏 川 浩 明	「脳磁図・機能的 MRI・眼球運動計測による奥行き注意下の運動透明視に関わる皮質活動の研究」	平成 25 年 3 月 25 日
山 本 詩 子	「Fiber Tracking and Tractography with Magnetic Resonance Diffusion Tensor Imaging for Quantitative Evaluation of Schizophrenia」 (統合失調症の定量評価のための MR 拡散テンソル画像法に基づく神経線維追跡とトラクトグラフィ手法に関する研究)	平成 25 年 3 月 25 日
南 政 孝	「分散型電源の系統連系における受動性に基づく制御および位相同期方式に関する研究」	平成 25 年 3 月 25 日
齊 藤 義 行	「内部結合を含む機能ブロック単位の LSI-EMC マクロモデルに関する研究」	平成 25 年 3 月 25 日
巳 谷 真 司	「Satisficing Nonlinear Spacecraft Rendezvous Under Control Magnitude and Direction Constraints」 (制御入力制約を考慮した宇宙機の相対軌道制御)	平成 25 年 3 月 25 日
川 原 洸太郎	「Identification of Deep Levels in SiC and Their Elimination for Carrier Lifetime Enhancement」 (SiC 中の深い準位の解析とキャリア寿命増大に向けた準位低減法の確立)	平成 25 年 3 月 25 日
渡 辺 直 樹	「Fundamental Study on Wide-Bandgap-Semiconductor MEMS and Photodetectors for Integrated Smart Sensors」 (高機能集積センサ実現に向けたワイドギャップ半導体 MEMS および光検出器の基礎研究)	平成 25 年 3 月 25 日
井 戸 慎一郎	「周波数変調原子間力顕微鏡を用いた生体分子のナノスケール固液界面構造計測」	平成 25 年 3 月 25 日
石 井 良 太	「GaN および AlN の励起子変形ポテンシャルの同定と (Al, Ga) N 系歪量子構造の物性予測」	平成 25 年 3 月 25 日
山 田 翔 太	「ワイドバンドギャップ半導体 SiC を用いたフォトリック結晶に関する研究」	平成 25 年 3 月 25 日
鈴 木 克 佳	「多方向同時エッチングによる 3 次元フォトリック結晶の一括形成」	平成 25 年 3 月 25 日
佐 藤 義 也	「空間的に離れた光ナノ共振器間の強結合状態形成とその応用展開」	平成 25 年 3 月 25 日
玉 手 修 平	「Geometry of weak measurements and its application to optical interferometry」 (弱測定の数値幾何学とその光干渉測定への応用)	平成 25 年 3 月 25 日
金 子 健太郎	「コランダム構造酸化ガリウム系混晶薄膜の成長と物性」	平成 25 年 3 月 25 日
原 島 純	「Studies on Re-ranking and Summarizing Search Results」 (検索結果の並べ替えと要約に関する研究)	平成 25 年 3 月 25 日

佐 方 連	「A Study of Flexible Cognitive Radio with Software Defined Radio and Dynamic Spectrum Access」 (ソフトウェア無線及びダイナミックスペクトラムアクセスを用いた柔軟なコグニティブ無線の研究)	平成 25 年 3 月 25 日
服 部 有里子	「ITS 無線情報システムの高度化に関する研究」	平成 25 年 3 月 25 日
熊 谷 崇	「移動通信網における位置情報管理技術を用いた通信・放送の高品質化」	平成 25 年 3 月 25 日
西 尾 理 志	「Cooperative Resource Sharing toward Mobile Cloud」 (モバイルクラウドに向けた資源協調利用の検討)	平成 25 年 3 月 25 日
李 炫 庸	「Study on Effect of Magnetic Field Configuration on Parallel Plasma Flow during Neutral Beam Injection in Heliotron J」 (ヘリオトロン J における中性粒子ビーム入射加熱プラズマ中の平行プラズマ流に及ぼす閉じ込め磁場配位の影響に関する研究)	平成 25 年 3 月 25 日
顔 偉 達	「A Study on Augmented Reality for Supporting Decommissioning Work of Nuclear Power Plants」 (原子力発電プラントの解体作業支援のための拡張現実感に関する研究)	平成 25 年 5 月 23 日
児 島 貴 徳	「光学顕微イメージングを用いた単一量子ドット・フォトリック結晶ナノ構造結合系の作製および基礎特性評価」	平成 25 年 7 月 23 日
細 江 陽 平	「Discrete-Time Noncausal Linear Periodically Time-Varying Scaling for Robustness Analysis and Controller Synthesis」 (ロバスト性解析と制御器設計のための離散時間非因果的周期時変スケーリング)	平成 25 年 9 月 24 日
山 口 辰 久	「3D Video Capture of a Moving Object in a Wide Area Using Active Cameras」 (能動カメラ群を用いた広域移動対象の 3 次元ビデオ撮影)	平成 25 年 9 月 24 日

[論文博士一覧]

藤 原 亮 介	「Study on Accurate Ranging and Positioning System with UWB-IR Technology」 (UWB-IR を用いた高精度測距・測位システムの開発)	平成 25 年 3 月 25 日
---------	---	------------------

単 麟 (吉田教授)

「Adaptive Radio Resource Allocation and Scheduling for Wireless Networks」

(無線ネットワークにおける適応無線資源割当とスケジューリングの研究)

平成 24 年 5 月 23 日授与

近年、無線通信は著しい発展を遂げており、携帯電話をはじめとして、無線 LAN、ETC システム、無線 IC タグなどの無線通信を利用する加入者が急速に増加している。今後もその利用は拡大の一途をたどることが予想される。しかしながら、周知の通り無線通信に適した電波の周波数は限られており、この有限の資源である無線周波数をいかにして最大限有効活用を図るか、適切な無線資源割当とスケジューリングが緊要の課題となっている。そこで、本論文では次世代無線マルチホップ網や次世代セルラ携帯電話網を念頭において、適応的な高効率無線資源の割当手法に取り分け、ネットワークのスループット、双方向通信のトラヒック、システム容量、公平性などの特性改善を図る手法について研究を行い、得られた成果を取りまとめている。

1)、本論文の前半は無線マルチホップネットワークを対象として、特に双方向通信の総スループットを向上させるために協力中継 (Cooperative Relaying) 及びネットワーク符号化 (Network Coding) を用いる適応的な中継技術を提案している。これは、双方向のトラヒック比や伝搬路チャネル状況に応じて適応的に中継方式の選択と無線資源の割当を行うものである。提案手法は、比例公平性 (Proportional Fairness) スケジューリング法の特徴を生かし、中継方式の選択基準及び双方向トラヒック比の制御パラメータなどに新たな工夫を導入している。また、アルゴリズムの計算量も従来方式と遜色のない効率的なスケジューリング法である。計算機シミュレーションにより、提案手法は非対称トラヒックに対応しつつ、従来方式より高い総スループットを達成できることが示されている。

2)、1) に用いたマルチホップモデルを複数中継局が配置されているモデルへ拡張し、中継局選択法と資源スケジューリング法の結合技術を提案している。その提案手法が中継局選択のダイバーシチ利得及びネットワーク符号化利得を得られるため、結果として、提案手法による達成した無線マルチホップ網のスループットの特性が更なる向上できることが示されている。次に、1) と 2) の結果に基づき、一般性がある且つより大きいスケールの無線マルチホップネットワークへ拡張し、そのモデルにおいて、提案手法の有効性について研究を行っている。計算機シミュレーションを行った結果、提案手法は従来方式より特性が改善され、非対称トラヒックに対応可能であることを明らかにしている。

3)、本論文の後半は次世代セルラ携帯電話網を対象として、無線資源割当法とスケジューリング方式について研究を行い、ユーザに対する所望の公平性とスループットの最大化を達成するため、適応的な公平性とスループット制御手法を提案している。従来の公平性を考慮した方式は重み付きの比例公平性が達成できるが、しかし、ユーザ所望の公平性指標と直接な関係がないため、所望の公平性の目標値に達成することが困難である。そして、ダイナミックシナリオの環境において、例えばユーザの位置や数がセル内に変化する時、従来手法は安定な公平性の指標値が提供できない。そこで、本研究では公平性の指標値と関連があるスケジューリング方式を提案した。計算機シミュレーションを行った結果、提案方式の有効性を明らかにしている。

4)、セルラ通信エリアの拡大やセル端通信容量の向上のため中継局を利用したマルチホップセルラシステムに着眼し、中継局において非再生中継と再生中継方式があるが、これらをセルラシステムへ適用した場合にどちらの中継方式が有効かは明らかではない。そこで、本研究では OFDMA を用いるセルラシステム上り回線が想定され、中継方式を導入した場合のシステム容量向上効果について比較評価が行われている。また、公平性に優れた OFDMA 周波数サブチャネル割当方式が適用されており、システム容量及び公平性の観点から評価がされている。

夏 川 浩 明 (小林教授)

「脳磁図・機能的 MRI・眼球運動計測による奥行き注意下の運動透明視に関わる皮質活動の研究」

平成 25 年 3 月 25 日授与

私達は現実にあるものをあるがままに見ているのではない。視対象からの光を眼で受けて脳で情報処理されることにより初めて視知覚が生じ、結果として外界を知覚する。実際に存在するものと視知覚とのギャップはどのような視覚情報処理によって起こるのであろうか？このような視知覚現象の解明は学術的に面白いだけでなく、情報処理分野の技術応用に繋がりうる課題である。そこで本研究はヒトの視覚にとって重要な、動きから奥行きを抽出する“structure from motion”と呼ばれる機能に関わる運動透明視に注目し研究を行った。運動透明視とは、視覚刺激が変化しないにも拘わらず見え方が時間とともに交替するといった双安定な知覚現象であると共に、知覚に伴って生じる不随意の眼球運動によってその知覚を客観的にも調べる事ができる非常に重要な現象である。しかし、その脳内機構についてはまだ一部が分かっているにすぎない。そこで、本論文では非襲侵脳機能計測手法の中で時間分解能の高い脳磁図 (MEG) と空間分解能の高い機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) 及び眼球運動計測を用いて、奥行き注意下における運動透明視課題遂行中の皮質活動について多角的な検討を行った。

まず、MEG と眼球運動計測による奥行き注意下の運動透明刺激に誘発される皮質活動について、奥行きが知覚される過程の脳活動を検討した。MEG 信号より事象関連脳磁界を計算し、そのデータに空間フィルタ法の sLORETA を適用することで皮質活動を求めた。その結果、運動透明視の奥行き構造の処理には低次視覚野 (V1/V2) から五次視覚野 (hMT/V5+) や頭頂間溝 (IPS) に至る背側経路に加えて外側後頭皮質近傍領域 (LO) が関わっていることを明らかにした。

さらに、高次脳機能のような複雑な脳活動を調べる新たなツールとなりうる Normalized fMRI-MEG 統合解析法を提案した。この手法は標準脳の座標系でのクラスタリング手法を用いた被験者共通の神経活動を抽出するものである。手法の有用性を内在する脳活動が比較的良く知られている視覚誘導性サッカーボール遂行時の MEG、fMRI データ解析により検証した後に、運動透明視に関わる皮質活動として頭頂間溝、五次視覚野、外側後頭皮質の活動部位と活動時間を高時空間分解能で捉えることができた。

以上の結果より、運動透明視の奥行き決定に関わる皮質活動には五次視覚野や頭頂間溝に至る背側経路に加え外側後頭皮質領域に見られることが分かった (図 1)。今後は脳活動を反映する運動透明視の計算モデルを作成することで、さらなる運動透明視の理解、ひいてはヒトの視覚システムの理解とその工学的応用が期待できる。

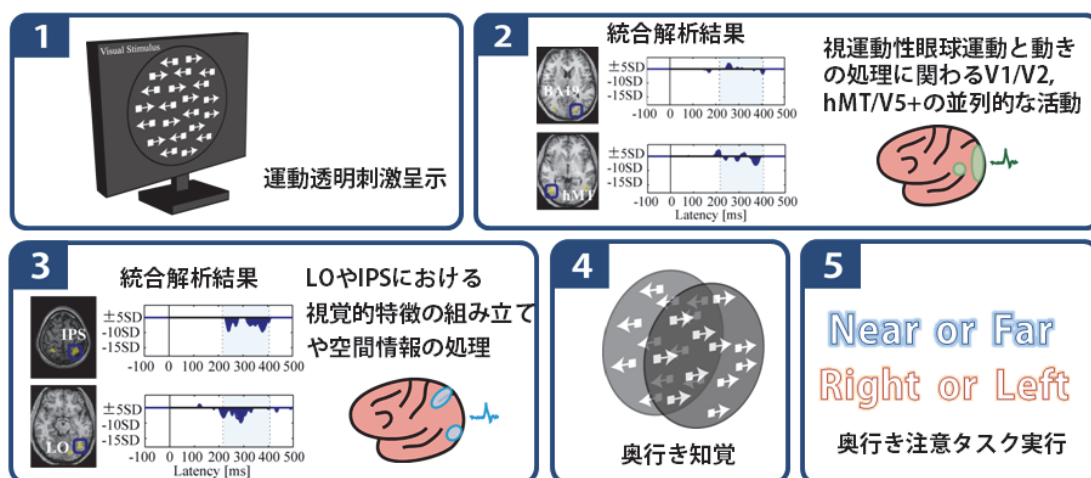


図 1 運動透明視の奥行き知覚決定に関わる皮質活動

山 本 詩 子 (小林教授)

「Fiber Tracking and Tractography with Magnetic Resonance Diffusion Tensor Imaging for Quantitative Evaluation of Schizophrenia」

(統合失調症の定量評価のための MR 拡散テンソル画像法に基づく神経線維追跡とトラクトグラフィ手法に関する研究)

平成 25 年 3 月 25 日授与

ヒトの脳では情報を処理する皮質間が脳神経線維で複雑に繋がりがち、脳に取り込まれた情報はこの脳神経線維を介して複数の皮質部位で処理されることにより、人間の高次脳機能が実現されている。高次脳機能が障害された精神疾患の中でも、患者数が多く日常生活に深刻な影響を与える統合失調症において、脳神経線維の異常が提唱されてきた。神経線維の情報を定量化し、神経線維に生じた異常を検出することで疾患の早期診断や早期治療に役立てるのではないかと期待されている。そこで、本研究では統合失調症患者の脳神経線維異常を定量的に評価することを目指し、生体内を非侵襲的に計測する MRI 技術を応用して水分子の拡散現象を画像化する MR-DTI 技術を用いて、脳神経線維の情報を定量化する神経線維追跡手法の開発を行なった。

統合失調症患者 14 名と健常者 21 名を対象に上縦束、下縦束、および下前頭後頭束の神経線維追跡を実施し、神経線維の特徴を患者と健常者の群間と大脳半球間で比較した。特徴を表す指標に、拡散異方向性の強さ FA、拡散の大きさ MD、線維束の太さ S を求めた。その結果、上縦束では S に、下縦束と下前頭後頭束では S と MD において、患者群と健常者群を判別できる可能性が見出された。

被験者脳を標準脳に位置合わせし、標準脳に合わせた 3 次元の組織配置画像から組織の空間座標を特定し、関心領域を自動設定して神経線維追跡を行なう方法を開発し、矢状層および上縦束で追跡を行なった。S、FA、MD に加えて、軌跡の曲率 Cu および連続した追跡の方向ベクトルの内積 DA を求めた。各評価指標について統計解析を行なったところ、各線維束ともに複数の指標で患者群と健常者群を判別できる可能性が見出され、関心領域の設定手法が統合失調症の判別に適している可能性が示された。

さらに、神経線維追跡を行なう際に問題となる複数神経束の交叉部での追跡エラーに対処するため、追跡途中に交叉領域にさしかかったと考えられる場合に、交叉領域の反対側に続く対象線維束上の軌跡を探索・補間する手法を提案した。交叉領域を B-スプライン曲線によって補間し、対象線維束上の軌跡として尤もらしい軌跡を、軌跡の曲率および捩率を用いて判断した。本手法をヒト脳の複数の神経線維束を模して作成したシミュレーション画像に適用し、追跡された本数を用いて評価することによって、その有効性を示した。

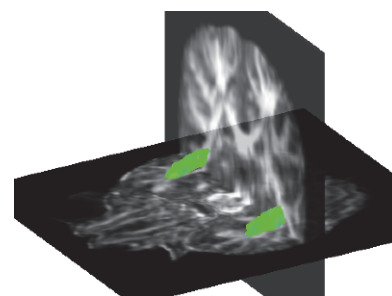


図 1：矢状層の追跡結果例

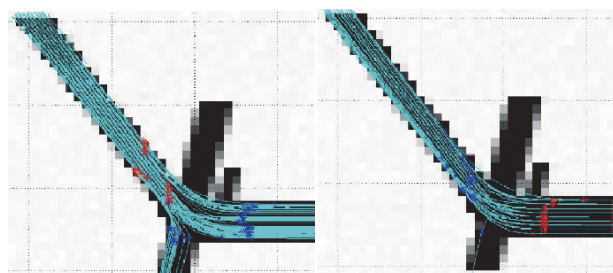


図 2：曲線モデルに提案手法を用いた線維追跡

南 政 孝 (引原教授)

「分散型電源の系統連系における受動性に基づく制御および位相同期方式に関する研究」
平成 25 年 3 月 25 日授与

電気エネルギーシステムは、現代社会におけるエネルギーネットワークの根幹をなしている。近年、その電気エネルギーシステムを取り巻く環境が大きく変化し、環境負荷低減や低炭素化社会実現のため、太陽光や風力などの自然エネルギーを利用した分散型電源の研究が進められている。今後、これらの分散型電源の一層の導入が期待される。一方、これらの分散型電源の出力は、天候などの気象条件に左右されやすく、一定の出力が得られないという特性がある。出力変動の大きな分散型電源が配電系統に多数連系する場合、電力の需給バランスが崩れることによる周波数の変動や逆潮流による配電線電圧の上昇をまねくなどの問題が懸念される。また、系統事故などの広域の擾乱発生時に、分散型電源が一斉停止し、配電系統に電力不足を及ぼすことも懸念される。今後の増加する分散型電源の導入量に伴い、分散型電源単独の系統連系ガイドラインを満たすだけでなく、系統運用に積極的に貢献しうることが強く要求される。すなわち、分散型電源系統連系システムは、定出力特性、擾乱への耐性、電力の調整機能を有することが不可欠となっている。そこで本論文では、受動性に基づく制御による統括的な電力変換器の制御手法の有用性、位相同期方式による擾乱に対する柔軟な耐性などを明らかにしている。主要内容は以下の通りである。

1. 複数の電力変換器が結合するシステムに関して、受動性に基づく制御を用いることによって、システムの状態変数が目標値へ追従動作することを実証した。
2. 系統連系インバータに、位相同期方式を適用することにより、インバータが慣性を持つ同期発電機のように振る舞うことを明らかにした。その結果、配電系統側の電圧位相がステップ的に変化した場合においても、インバータの位相が自律的に調節されて収束することを明らかにした。
3. 配電系統に生じる位相急変や瞬時電圧低下および需要家側に生じる負荷抵抗値変動等の擾乱に対して、上述の制御手法を用いることにより、目標値追従動作を保証し、系統連系を維持できることを示した。この結果より、提案手法が系統連系において实际的に有効な手法となることを示した。
4. インバータに周期的摂動を加えることにより、負荷を推定する機能をインバータに付与する手法を示し、使用する摂動の条件を得た。この手法を用いた分散型電源の系統連系システムの定常状態への遷移を実現し、提案システムが所望の状態を維持できることを数値的に示した。

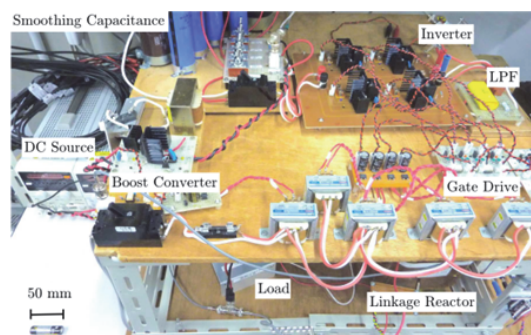


図 1. 分散型電源系統連系システム

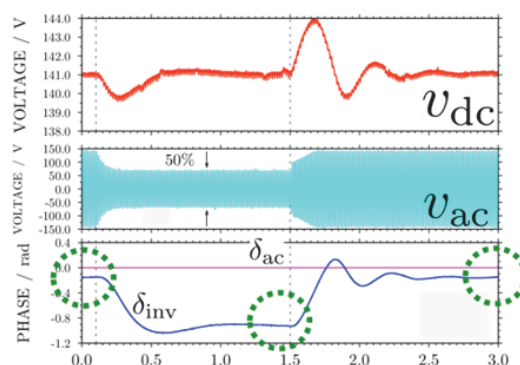


図 2. 瞬時電圧低下に対する過渡挙動

齊 藤 義 行 (和田教授)

「内部結合を含む機能ブロック単位の LSI-EMC マクロモデルに関する研究」

平成 25 年 3 月 25 日授与

本論文は、電子機器に搭載されるマイクロコントローラ（以下、マイコン）の動作によって生じる電源系高周波電流が原因で発生する電磁干渉（Electromagnetic Interference：EMI）のシミュレーションを行うための EMC マクロモデルについて論じた結果をまとめたものである。

最初に、マイコンを機能ブロック（コアブロック、I/O ブロック、アナログブロック等）に分割してマクロモデルを構築する場合に、各ブロック間に存在するブロック間内部結合（Inter Block Coupling：IBC）のモデル化が必要であることを示し、IBC を含む 3 ポートの線形等価回路モデル構造(図 1)を新たに提案した。また、記号解析（Symbolic Analysis）と最小二乗パラメータ最適化を用い、線形等価回路のインピーダンスの絶対値・位相両方を考慮して線形等価回路の素子の値を決定する新たな方法を提案した。

次に、複数の電源端子間の伝達インピーダンス特性に注目し、より実測値に近い特性を示す線形等価回路を構築することを目的として、新たな線形等価回路モデルの構造を提案した。従来のモデルでは、異なる電源系に属する電源端子の駆動点インピーダンスについては実測とよく一致しているのに対し、電源端子間の伝達インピーダンスについては低周波数領域で実測と差があった。伝達インピーダンスの実測結果において、低周波数領域では平坦性（抵抗性）を示していることから、グラウンド間にシリコン基板を介した結合が存在していると推定し、この結合を表現する抵抗素子をグラウンド側に挿入した構造の等価回路モデルを提案した。この等価回路の各回路素子の値についても記号解析（Symbolic Analysis）と最小二乗パラメータ最適化を用いて決定した。

最後に、8 ビットマイコンを対象として、機能ブロックごとの電源電流を実測によって求め、それらをマイコンで実行するプログラムに応じてパイプライン処理を考慮して足し合わせることで、プログラムや動作周波数を変更した場合でも電源電流のシミュレーションが可能であることを示した。マイコン全体の電源電流測定結果から機能ブロックごとの電流を分離する方法について提案するとともに、ブロックごとの電源電流を合成して求めたマイコンの電源電流の時間波形から周波数スペクトルを求めると、動作クロック周波数の高調波だけでなく、イントラ EMC で問題となる次数間調波も精度良く予測することができることを示した（図 2）。さらには、プログラムで扱うデータの値に応じて電源電流が変化することを示し、データの違いを考慮することで電源電流の解析精度が向上することを示した。

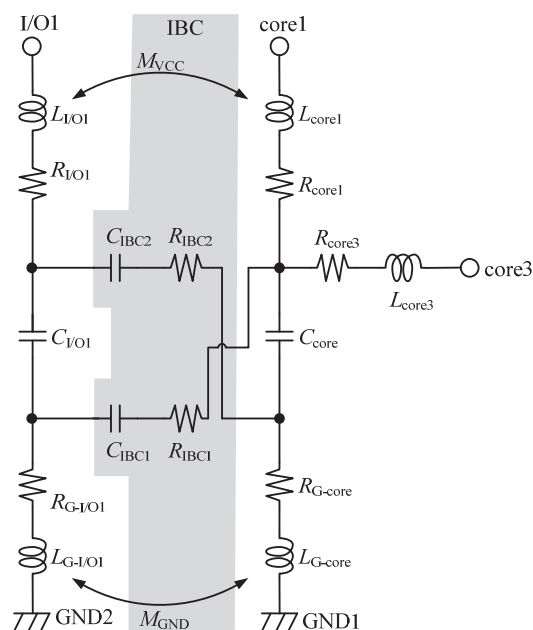


図 1 IBC を含む 3 ポート線形等価回路

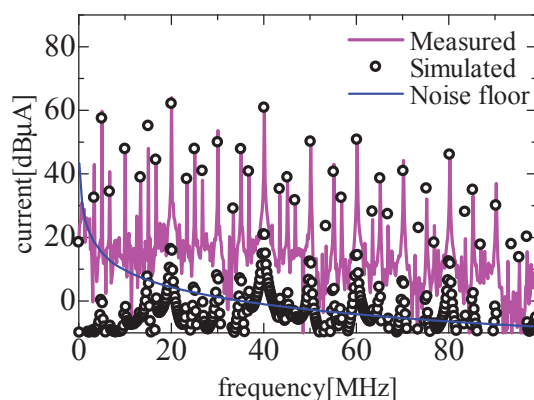


図 2 電流スペクトルの実測比較

巳 谷 真 司 (山川教授)

「Satisficing Nonlinear Spacecraft Rendezvous Under Control Magnitude and Direction Constraints」

(制御入力制約を考慮した宇宙機の相対軌道制御)

平成 25 年 3 月 25 日授与

本論文は、制御入力制約下における 2 機の宇宙機の相対軌道の最適制御に関する研究成果についてまとめられたものである。本論文では、制御入力の方角と絶対値に制約がある中で燃料消費を抑えつつ安全に宇宙機の軌道を制御する問題を考え、複雑な入力制約条件を考慮する新たな手法を二種類提案した。得られた成果は以下の通りである。

1. バリア関数を入力の方角制約のペナルティとして評価関数に付加することにより、最適制御問題を解くことを検討した。この結果、ポンドリャーギンの最小原理に基づき、ハミルトニアンを最小化する制御入力の平滑解を初めて解析的に導くことに成功した。この解は、過去の研究で得られている入力の絶対値制約のみを考慮した平滑解の一般化となっている。また、本手法により、燃料消費最小問題、エネルギー最小問題の両方を定式化することに成功した。どちらの問題に対しても、制約を満たす最適制御入力の履歴が得られることを数値解析により示した。

2. 1 で得られた開ループ的な制御則に対して、より安定性を高めるため、非線形制御の手法の一つである Satisficing 法を適用し、準最適な閉ループ制御則を求めることを検討した。2 次評価関数に制約条件を考慮した重み行列設定にすることにより、最終軌道遷移中で方向入力の制約を満たす制御リアプノフ関数の選定方法を考案した。また、絶対値制約と方向制約のバリア関数を、Satisficing 集合の条件の中に予め導入することにより、厳密に入力制約を満たす安定入力の集合に拡張可能なことを示した。この着想により、利得関数とコスト関数の差を最大にする制御入力を解析的に求めることに成功した。提案手法の安定性を議論するための入力空間内での作図法を考案し、重み関数等のパラメータを適切に選択することにより、時変・非線形システムで記述される宇宙機のランデブー問題において安定な解が得られることを示した。

以上のように本論文は、スラスター噴射方向などに複雑な制約条件が課される宇宙機の相対軌道の最適制御問題に対して、新たな解法を提案している。本手法は、複数の宇宙機の相対軌道制御に留まらず、支配方程式が時変システムや非線形システムで記述される他の力学系にも広く適用できるものである。

川 原 洸太郎 (木本教授)

「Identification of Deep Levels in SiC and Their Elimination for Carrier Lifetime Enhancement」

(SiC 中の深い準位の解析とキャリア寿命増大に向けた準位低減法の確立)

平成 25 年 3 月 25 日授与

半導体中の点欠陥は、バンドギャップ中に深い準位を形成する。深い準位は、半導体デバイスの導電率およびキャリア寿命を減少させ、また、リーク電流を増大させる。特に、キャリア寿命への影響は大きく、バイポーラデバイスの性能を左右する。しかし、SiC (Si に代わる次世代半導体) 中の深い準位に関しては、その物性の大部分が未解明であった。よって、本研究では、(i) デバイス作製プロセスによって生成される深い準位を検出・解析し、(ii) その起源 (点欠陥) を同定、さらに (iii) SiC 中の深い準位の制御法を確立し、(iv) キャリア寿命の制御を試みた。

(i) SiC デバイス作製の際には、イオン注入および反応性イオンエッチングが必須である。本研究により、これらのプロセスにより多種・高密度の深い準位が生成することが判明した。特に、生成された深い準位にはキャリア寿命を支配する準位 ($Z_{1/2}$ センター) が含まれ、その低減法の確立が重要課題であることが分かった。

(ii) 測定法を工夫することにより、初めて、 $Z_{1/2}$ センターの起源が炭素空孔であることを明らかにした。

(iii) さらに、SiC を高温で長時間酸化することにより、 $Z_{1/2}$ センターを消滅させることに成功した。これは、酸化中に、酸化膜界面で発生した格子間炭素が SiC 中に拡散し、炭素空孔を埋めることにより生じることが分かった。本モデルに基づいた拡散方程式を解くことにより、酸化後の $Z_{1/2}$ センターの分布を計算予測可能にした。図 1 は様々な条件で酸化した後の $Z_{1/2}$ センターの深さ方向分布である。各線が計算予測値、シンボルが実測値を示しており、酸化条件によらず両者はよく一致している。 $Z_{1/2}$ センター消滅に必要な酸化条件はサンプルによって異なり、本計算法で酸化条件を決定する必要がある。

(iv) 最後に、熱酸化 (キャリア寿命増大法) および電子線照射 (キャリア寿命低減法) を用いることで、SiC 中のキャリア寿命の制御が可能であることを示した。図 2 は図 1 の各試料の μ -PCD 測定結果である。高温・長時間の酸化を行うことで、エピ層の深くまで $Z_{1/2}$ センターが消滅し、キャリア寿命が増大していることが分かる ($0.6\mu\text{s}$ から $6.5\mu\text{s}$)。このようにしてキャリア寿命を増大させた後、電子線照射により所望のキャリア寿命に調整することで、面内均一なキャリア寿命を再現性よく得ることができる。

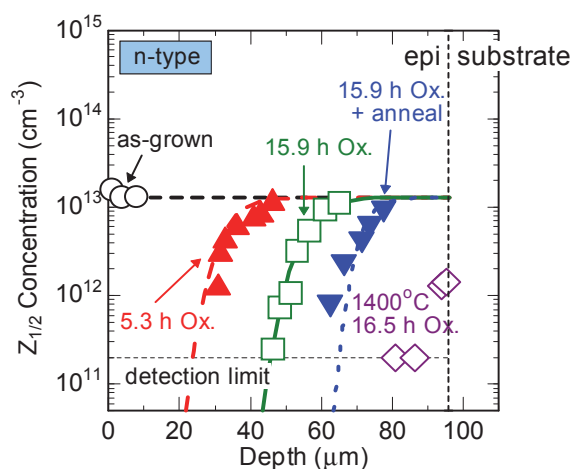


図 1 様々な条件で酸化後の $Z_{1/2}$ 深さ方向分布

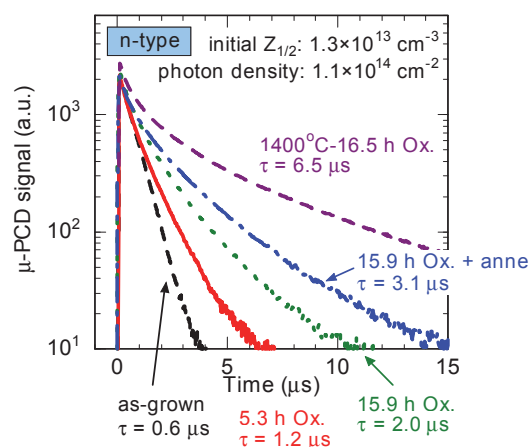


図 2 図 1 の各試料の μ -PCD 測定結果

渡 辺 直 樹 (木本教授)

「Fundamental Study on Wide-Bandgap-Semiconductor MEMS and Photodetectors for Integrated Smart Sensors」

(高機能集積センサ実現に向けたワイドギャップ半導体 MEMS および光検出器の基礎研究)

平成 25 年 3 月 25 日授与

MEMS (Microelectromechanical Systems) は超小型・高機能センサデバイスとして注目を集めているが、高温などの厳環境における動作への要求が高まっており、高温でも化学的に安定で機械的強度も優れている炭化ケイ素 (SiC) や窒化ガリウム (GaN) などのワイドギャップ半導体を構造体に用いた応用が期待されている。一方、ワイドギャップ半導体を機能性材料として扱うことにより新規機能デバイスが実現でき、さらにこれらのワイドギャップ半導体は、禁制帯幅が大きいことに起因して高温でも動作可能な電子デバイスを実現することができる。したがってワイドギャップ半導体 MEMS と新規機能デバイス、さらに光検出器などのセンサデバイスを集積することで、高機能かつ高性能なセンサシステムへと応用することが可能となる。

本論文は厳環境動作可能な集積センサの実現に向けて、ワイドギャップ半導体 MEMS と光検出器の基礎研究をまとめたものである。このような集積センサを実現するうえでの課題として 1) 高温におけるワイドギャップ半導体の物性データの解明、2) ワイドギャップ半導体の微細加工プロセスの確立と MEMS デバイス作製、3) ワイドギャップ半導体電子デバイス的高温動作の実現があげられる。本論文では、これらの課題に対し以下の研究に取り組み、ワイドギャップ半導体 高機能集積センサ実現へ向けた進展を示した。

1. ワイドギャップ半導体の良好な可視光透過性を活かした光受動素子の実現に向けて、SiC、GaN、および窒化アルミニウム (AlN) の屈折率の温度依存性を正確に評価し、温度範囲が室温から 500°C、波長範囲がバンド端付近 (SiC: 392nm, GaN: 367nm, AlN: 217nm) から 1700nm の赤外域の領域においてその値を決定した。また得られた結果を用いて、温度により屈折率を変化させて透過波長を変調する光学フィルタのシミュレーションを行い、ワイドギャップ半導体による可視域波長可変フィルタの実現可能性を示した。
2. 高温における SiC 光検出器の設計のため、SiC 光吸収係数の温度依存性を正確に評価し、室温から 300°C、光吸収係数が 500cm^{-1} までの波長における値を決定した。
3. (光) 電気化学エッチングを用いることで SiC の伝導型選択エッチングが可能であることを示し、これを用いて単結晶 4H-SiC から成るブリッジ構造・カンチレバー構造を作製した。図 1 に作製したブリッジ構造の鳥瞰 SEM 像を示す。また、作製した単結晶 SiC カンチレバーの共振特性において、同程度のサイズの Si カンチレバーより大幅に大きな Q 値 (230,000) を達成し、単結晶 SiC MEMS の高いポテンシャルを実証した。
4. 高温動作 SiC pn フォトダイオードの実現に向けて、1) 逆バイアス電圧調整による感度の温度無依存化の提案と実証を行い、2) パッシベーション手法の改良による高温でのリーク電流の大幅な低減と、室温から 500°C までの温度範囲における SiC pn フォトダイオードの良好な光感度特性 (量子効率 50-70%) を達成した (図 2)。

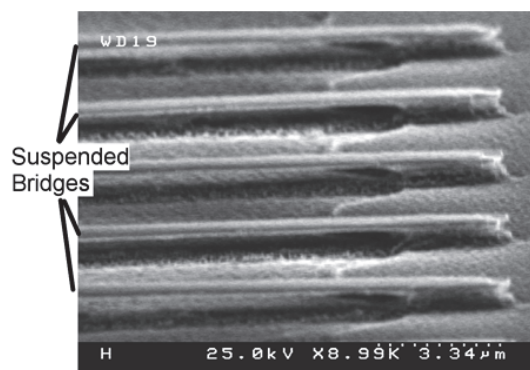


図 1. 単結晶 SiC ブリッジ構造の鳥瞰 SEM 像

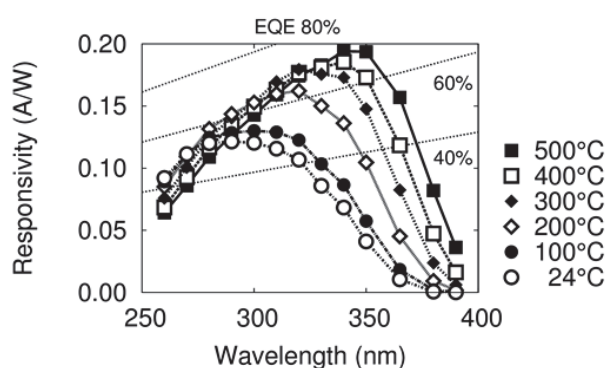


図 2. SiC pn フォトダイオードの分光感度特性

井戸 慎一郎（木本教授）

「周波数変調原子間力顕微鏡を用いた生体分子のナノスケール固液界面構造計測」

平成 25 年 3 月 25 日授与

次世代のエレクトロニクス技術の確立に向け、限界を迎えつつあるトップダウン型の微細加工プロセスから、ボトムアップ型のプロセスへの転換が迫られている。その実現のための有力な手法のひとつとして、生体分子の自己組織化現象を利用する方法があり、ナノバイオテクノロジーと呼ばれる分野において現在活発な研究が行われている。ナノバイオテクノロジーのさらなる発展のためには、生体分子の機能に 관련된 構造を精密に計測する必要があるが、分子生物学で伝統的に用いられてきた構造計測手法である X 線回折や電子顕微鏡は、生体分子が機能を発現する水中の計測が困難であるなど様々な制約を有していた。いっぽう原子間力顕微鏡（AFM）は、測定環境や観察可能な試料に対する原理的な制約が存在しないため、水中で動作するナノバイオデバイスの特性をその場で評価可能な数少ない技術のひとつとして近年大きな注目を集めている。本論文では、液中で動作する周波数変調検出方式 AFM（FM-AFM）を、DNA やタンパク質分子など様々な生体分子のナノスケール固液界面構造計測へと応用した結果について記述している。

FM-AFM を用いたプラスミド DNA 分子の水中観察の結果の 1 例を図 1（a）に示す。いわゆる B 型 DNA の右巻き二重らせん構造における主溝と副溝の違い（図 1（b））や、DNA 鎖のバックボーンを形成する糖リン酸鎖上に周期的に存在する個々のリン酸基を分解して観察することに成功した。また、二重らせん構造の局所的な融解（緩和）など、これまでの結晶学的に決められた構造からの差違も明瞭に観察された。さらには、液中 FM-AFM を利用した 3 次元フォースマッピング法と呼ばれる手法を用いることで、高度好塩菌の紫膜内に存在する、bacteriorhodopsin（BR）タンパク質分子の規則的配列、およびその膜表面に形成される水和構造を分子スケールで可視化できることを示した。

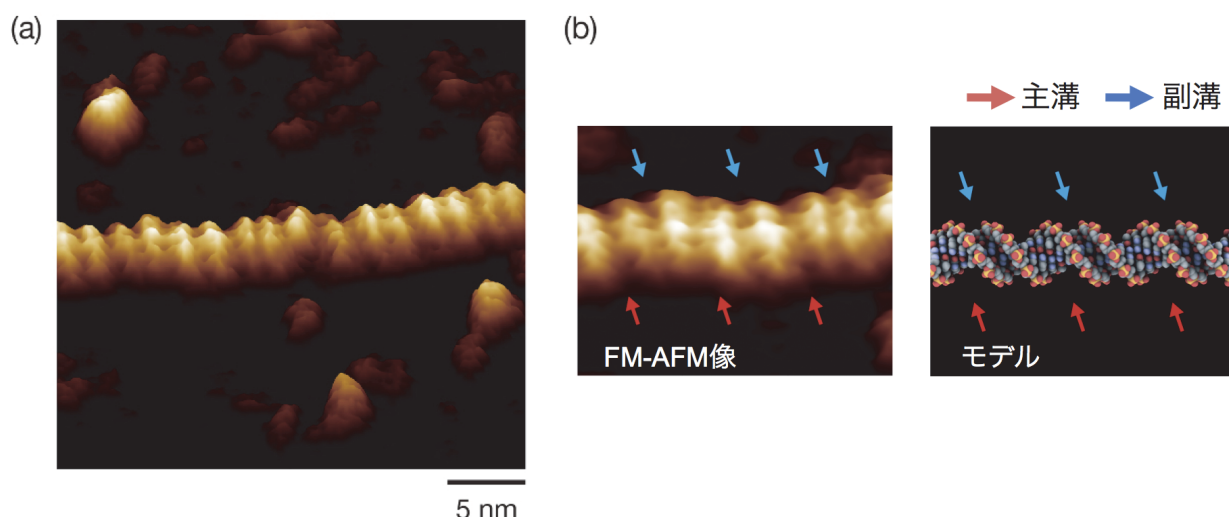


図 1: 液中動作周波数変調検出方式原子間力顕微鏡 (FM-AFM) を用いた DNA 分子の高分解能固液界面構造計測. (a) プラスミド DNA 分子の B 型二重らせん構造. (b) 二重らせん構造の拡大 AFM 像 (左) とそのモデル図 (右).

石 井 良 太 (川上教授)

「GaN および AlN の励起子変形ポテンシャルの同定と (Al, Ga) N 系歪量子構造の物性予測」

平成 25 年 3 月 25 日授与

紫外線には、リソグラフィ、光触媒および光合成反応、殺菌・消毒など様々な応用分野が存在する。窒化物半導体（ここでは AlN と GaN の混晶の AlGa_{0.3}N）を用いた発光ダイオード (LED) やレーザダイオード (LD) は、発光波長の制御性の高さ、長寿命かつ小型・堅牢など数々の特長から、新しい紫外発光素子として期待されている。しかしながら、LED の光出力および量子効率が高いとは言えず、336 nm 以下で発振する LD は実現されていない（原理的には 210 nm 程度まで発振可能）。

本研究では、上記の原因として、GaN と AlN の物性定数のほとんどが未解明であることに着目した。物性定数を精密に同定することができれば、(Al, Ga) N 系発光デバイスの特性を信頼性高く予測することができ、紫外高効率発光に向けたデバイス構造を提案することが可能となる。特に本研究では、発光層が大きな歪を内包した量子井戸構造であることに着目して、歪が電子状態に与える影響の程度を表す“励起子変形ポテンシャル”を実験的に同定した。

GaN と AlN の励起子変形ポテンシャルを全て実験的に同定するために、外部から意図的に応力を印加できる装置を構築した。図 1 に、一例として、結晶主軸に平行に応力を印加したときの GaN 基板の偏光反射スペクトルを示す。実験結果を解析することで、GaN と AlN の全ての励起子変形ポテンシャルを実験的に同定することに成功した。

上記の物性定数を用いて、(Al, Ga) N 系歪量子構造の電子状態を計算した。一例として、井戸幅が 3 nm の Al_{0.7}Ga_{0.3}N/AlN 歪量子井戸構造の価電子帯状態密度を図 2 に示す。図 2 より、従来の成長面方位である (0001) 面に対して、(11-22) 面は価電子帯頂上近傍の状態密度が大幅に低減されていることが分かる（レーザ発振に有望なことを示している）。これらの計算結果をもとに、紫外領域におけるいくつかの波長帯に対して、高効率発光が期待できるデバイス構造の提案を行った。

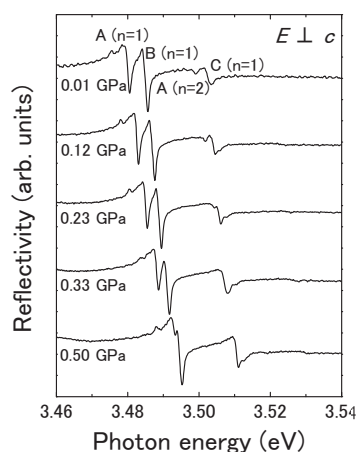


図 1 GaN の偏光反射スペクトルの一軸性応力依存性

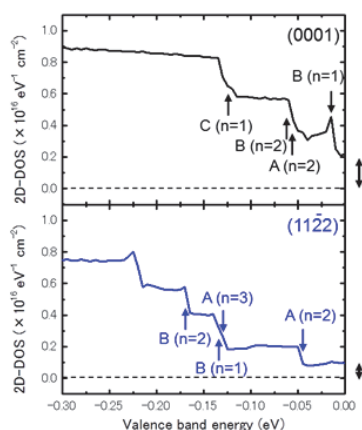
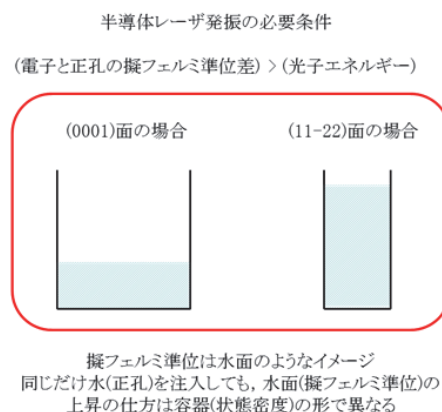


図 2 Al_{0.7}Ga_{0.3}N/AlN 歪量子井戸構造の価電子帯状態密度 (井戸幅 3nm)



山 田 翔 太 (野田教授)

「ワイドバンドギャップ半導体 SiC を用いたフォトニック結晶に関する研究」

平成 25 年 3 月 25 日授与

本論文は、次世代の光材料であるフォトニック結晶の応用範囲を飛躍的に拡張することが可能とされる、ワイドバンドギャップ半導体材料「シリコンカーバイド (SiC)」に着目し、これを用いた新たなフォトニック結晶の設計・作製手法の確立およびその実証を行った結果をまとめたものである。本論文において、得られた主な成果は次のとおりである。

1. SiC を用いたフォトニック結晶を設計し、新たに作製手法の開発を行った。光学特性評価を行った結果、光通信帯域 ($1.55 \mu\text{m}$ 帯) において約 200nm 程度の PBG 領域、約 100nm の導波帯域をもつ導波路や Q 値約 10000 をもつ共振器が得られ、SiC を用いて初めて 2 次元フォトニック結晶を実証した。
2. ワイドバンドギャップをもつ SiC は可視領域においても透明であり、フォトニック結晶の可視領域への応用が可能である。格子定数 a を 150nm から 600nm まで 25nm 間隔で様々に変化させたフォトニック結晶を作製し (図 1 (a))、光学特性評価を行った結果、波長 550 ~ 1450nm という従来の材料では成し得なかった非常に広帯域において、同一基板上に導波路・共振器結合系を実現することに成功した (図 1 (b))。
3. SiC フォトニック結晶共振器における二光子吸収の抑制の可能性について、入力するエネルギーを変化させながら共振器特性を評価し、Si フォトニック結晶共振器との比較を行った。その結果、SiC を用いることによって二光子吸収が十分に抑制され、少なくとも Si の約 100 倍の入力エネルギーに対しても安定に動作できることが明らかとなった。
4. SiC がもつ二次の非線形係数を利用し、SiC フォトニック結晶共振器において、初めて第二高調波発生や和周波発生を観測することに成功した。また、用いる共振器構造によって、第二高調波や和周波の放射パターンや偏光特性が異なることを見出し、かつ 3 次元 FDTD 法を用いた理論計算により、その実験事実を良く説明できていることを示した。

以上の成果は、SiC フォトニクスとも言うべき、これまでにない新たな光分野の萌芽となるものと期待される。

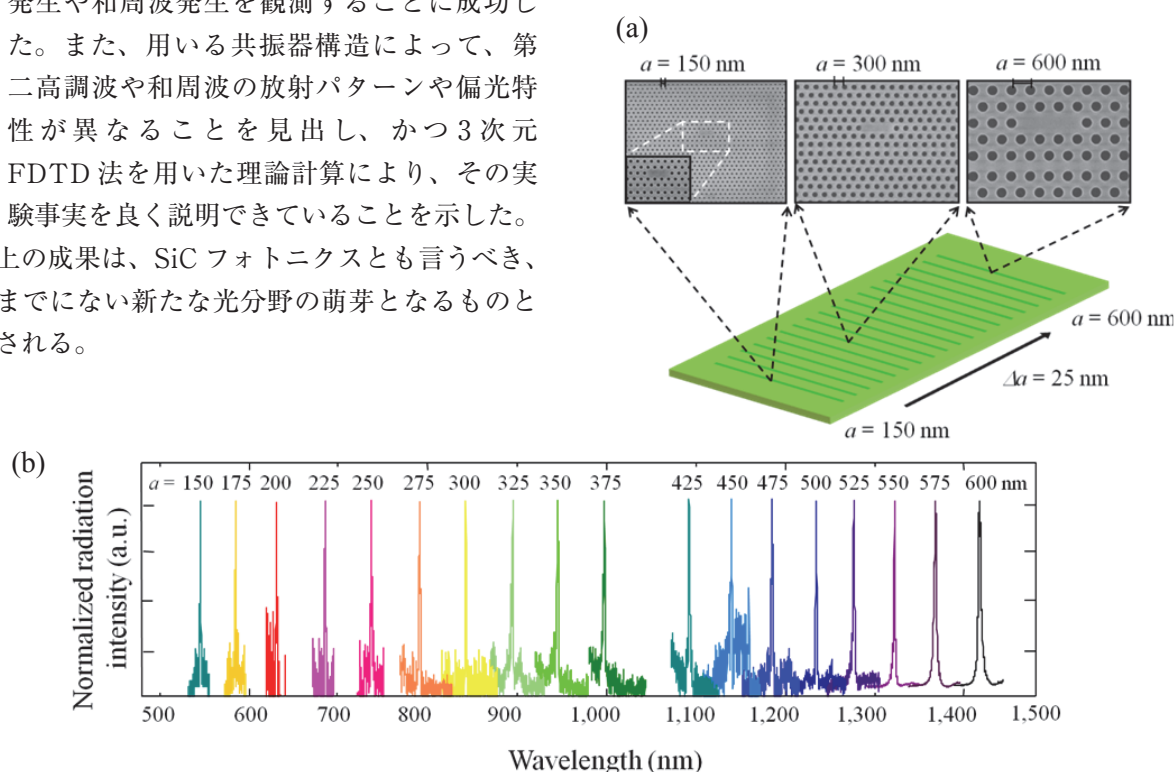


図 1 : 様々な格子定数の SiC フォトニック結晶共振器 (a) SEM 像 (b) 放射スペクトル

鈴木 克 佳（野田教授）

「多方向同時エッチングによる 3 次元フォトニック結晶の一括形成」

平成 25 年 3 月 25 日授与

本論文は、次世代の光材料として期待されている 3 次元フォトニック結晶を簡便に実現可能な新規作製法の提案と実証を行った結果をまとめたものである。3 次元フォトニック結晶は、光の波長程度の周期的屈折率分布をもつ光ナノ構造体であり、全方向に対する光の禁制帯であるフォトニックバンドギャップをもつことを特徴する。このような 3 次元フォトニック結晶は、光子を制御・操作するための次世代光材料と位置付けられ、様々な光制御の実現の鍵を与えるものと期待されている。しかしながら、その実現には高精度な形成技術が要求され、高品質な 3 次元フォトニック結晶を一括して簡便に作製することは困難であった。本論文では、多方向から「同時に」斜め方向のエッチングを行うというユニークな手法を実現し、わずか 1 回のエッチングにより 3 次元フォトニック結晶を一括形成することに成功した。

第一に、市販のプラズマエッチング装置内に、金属から成るイオン軌道制御板を配置するのみで、多方向から同時に斜め方向のプラズマエッチングを行う独自の手法を開発した。この技術を用いて図 1 に示す 3 次元フォトニック結晶の一括形成を試みた結果、わずか 1 回のプラズマエッチングにより、世界でもトップクラスの 3 次元フォトニック結晶が一括形成できることを示した（図 2）。これらは、2 次元構造形成と同程度の簡便さで高精度な 3 次元構造の一括形成が可能であることを如実に示している。さらに、フォトニック結晶を用いた光制御を実現するために重要な、フォトニックバンドギャップ帯域制御を試み、可視光域から近赤外光域までの非常に広い波長域において、フォトニックバンドギャップ帯域を制御することに成功した。

第二に、3 次元フォトニック結晶を用いた光制御の一例として、3 次元フォトニック結晶の表面を用いた光制御について検討を行った。まず、表面における光の伝搬状態を、実験・理論の両面から明らかとした。さらに、表面近傍の構造を変化させて表面における光の状態が存在しない状況を実現し、その一部分に、意図的に周期性を乱した表面欠陥を導入することにより、表面における光ナノ共振器及び、光導波路が実現できることを理論的に示した。

以上の成果は、次世代の光材料として期待されている 3 次元フォトニック結晶の簡便な実現を可能とするものであり、3 次元フォトニック結晶を用いた研究の進展に大いに貢献すると期待できる。

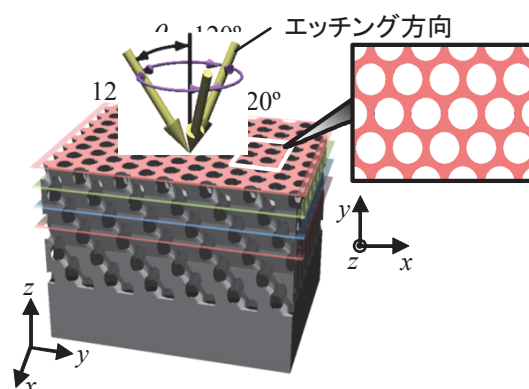


図 1: 3 次元フォトニック結晶の模式図。

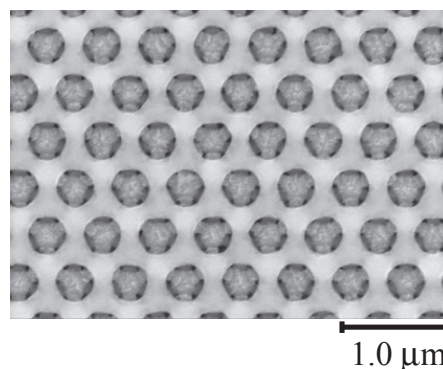


図 2: 試料上面の電子顕微鏡像。

佐藤 義也（野田教授）

「空間的に離れた光ナノ共振器間の強結合状態形成とその応用展開」

平成 25 年 3 月 25 日授与

本論文は、光を微小領域に長時間閉じ込めることが可能なフォトニック結晶光ナノ共振器間を、光波長の数十倍もの距離を離れた状態で強く結合させ、かつその結合を共振器の光子寿命より短い時間で変化させて結合状態を動的に制御する技術について提案と実証を行った結果をまとめたものである。

光を波長の 3 乗程度の極微小領域、すなわち光ナノ共振器に強く閉じ込めることは、光を用いた量子演算や、光を光のままで蓄えることが可能な光メモリーなど、将来の通信・情報処理のための高機能光回路の実現にとって鍵となる技術である。これまでに単体の光ナノ共振器への光閉じ込めは実現されていたものの、複数の光ナノ共振器間で光を自在に交換する技術は存在しなかった。本研究では、第一に、図 1 に示す 2 つの共振器 A, B の中間に導波路を配置した構造を考え、導波路から外部環境へ光が逃げるのを抑えるために導波路の両端を反射鏡 C, D で閉じると、この導波路が結合振子において振動を媒介する棒と同様に、ナノ共振器間での光の交換を媒介し得ることを提案した。

第二に、導波路の伝搬時間や位相を適切に設計することで、導波路部への光の散逸を抑えつつ、ナノ共振器部に光を集中させた状態のままで、ナノ共振器間の光のやり取りを実現できることを理論的に明らかにした。

第三に、実験的に図 2 に示すように $83\mu\text{m}$ も離れた光通信帯域の共振器間で光が超高速（周期 54ps ）に何度も交換される様子を確認した。さらに、その交換を外部制御光パルスを用いて任意のタイミングで切断することにも成功した。これらの成果は光情報を古典光のレベルだけでなく単一光子レベルにおいてもそのまま保持して処理できる技術として、次世代高機能光回路の実現に大きく貢献するものと期待できる。

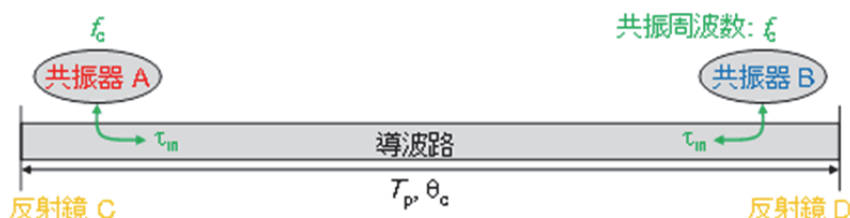


図 1: 導波路を介した結合共振器モデル

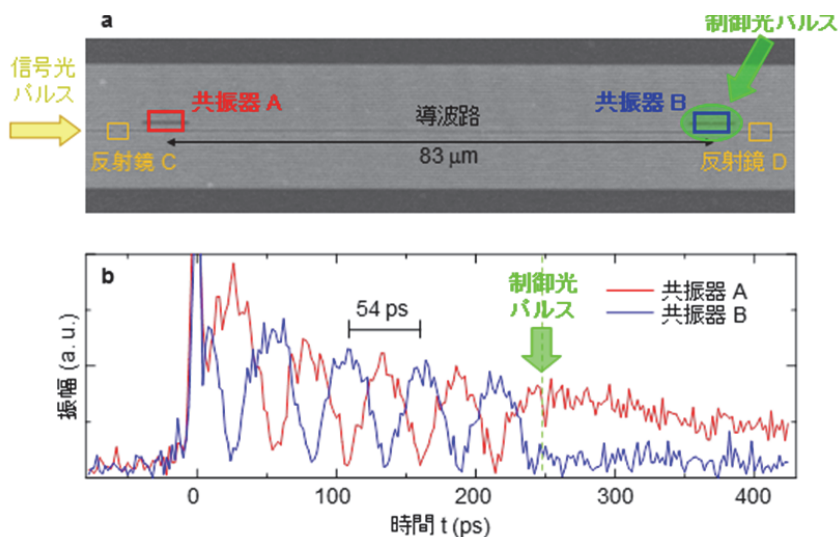


図 2: 離れた共振器間の強結合とその切断の実証

玉 手 修 平 (北野教授)

「Geometry of weak measurements and its application to optical interferometry」
(弱測定の幾何学とその光干渉測定への応用)

平成 25 年 3 月 25 日授与

弱測定はアハラノフ・ボーム効果で有名なアハラノフによって、提案された量子測定の一つの方法であり、微弱な相互作用を効率的に検出する計測手法としても注目を集めている。本論文は、弱測定の定式化に用いられる 2 状態形式と呼ばれる量子力学の定式化を幾何学的な観点から整備し、その定式化をもとに弱測定の光干渉測定へ応用手法を考案し、その結果についてまとめたものである。

まず、弱測定のもととなる量子力学の定式化である 2 状態形式における状態ベクトルをブロッホ球上に表現する方法について検討した。また、この状態表示をもとに、弱測定の測定結果である弱値の取り得る範囲について検討し、負の弱値をとるための条件を幾何学的に明らかにした。

次に、弱測定と幾何学的位相の関係について調べた。弱測定においては、その測定値である弱値が測定条件によって、非常に大きな値をとり、この効果が計測上有利に働くと考えられている。ここでは、弱測定の測定系と量子消去系のアナロジーを考察することで、弱値が大きな値をとるために必要な条件を幾何学的位相にもとづいて考察し、幾何学的位相と弱値の関係を明らかにした。

最後に、弱測定の光干渉測定への応用として、完全無偏光状態を用いて、干渉計内の偏光回転を測定する測定手法を提案し、この検証実験を行った。実際の実験系を図 1 に示す。この系において、初期状態を Quartz 結晶により無偏光状態に準備し、この状態を用いて干渉計内部の半波長板 (HWP1) の回転角の測定を行った。図 2 が波長板の角度に対する検出器の応答を示している。この図から、測定に用いる偏光状態が無偏光な場合にも波長板の角度が測定可能であり、弱測定の特徴であるパラメータの変化に対する急激な応答の変化も得られることを明らかにした。

本研究は、幾何学的な考察から弱測定のノイズに対する耐性を明らかにし、その事実をもとに光の干渉測定に応用したものであり、今後の弱測定のさらなる応用に繋がる研究であると考えられる。

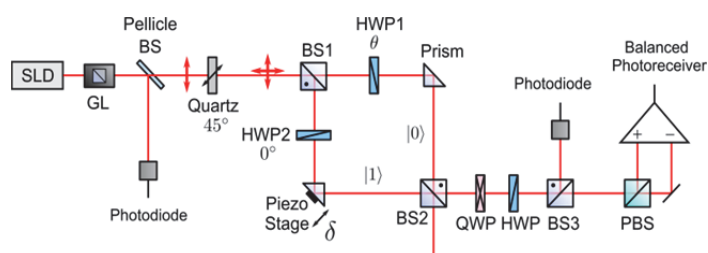


図 1 無偏光状態を用いた偏光回転の弱測定の実験系

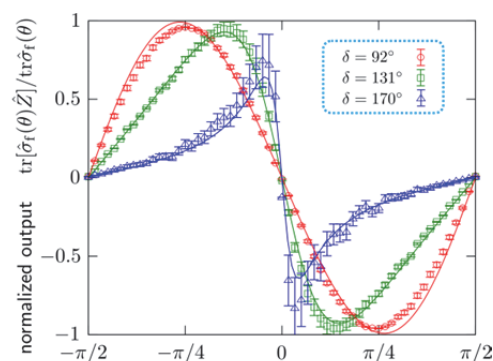


図 2 波長板の角度に対する検出器の応答の変化

金子 健太郎（藤田教授）

「コランダム構造酸化ガリウム系混晶薄膜の成長と物性」

平成 25 年 3 月 25 日授与

半導体研究において新材料の開拓は重要である。その中でも新しい混晶系の開発は大きな意義をもち、半導体研究の歴史を鑑みても、新規機能性デバイスは常に新材料の混晶系によってもたらされてきた。博士研究では、新しい混晶系としてコランダム構造酸化物に着目し、その混晶薄膜作製と新規機能開拓を行った。

コランダム構造酸化物の混晶系は主に2つの領域により構成されており、1つ目は典型金属酸化物による混晶系であり（ α - Al_2O_3 - α - Ga_2O_3 - α - In_2O_3 図1）、バンドギャップ値を3.7～9.0eVまで変調させる事が可能である。2つ目は遷移金属酸化物である α - Fe_2O_3 、 α - Cr_2O_3 等で構成される領域であり、1つ目の領域の典型金属酸化物と混晶化、またはドーピングを行う事で、強磁性等の機能付加が可能となる。つまり II-VI、III-V 族化合物半導体と同様に1つ目の領域で「バンドギャップエンジニアリング」が可能であり、さらに2つ目の領域の3d ブロック元素を中心とする材料の、スピン偏極した電子の特性を付加する事で、半導体薄膜中に磁気秩序や特殊な電子秩序をもたせる「ファンクションエンジニアリング」が可能となる事が大きな特徴である。

博士研究において、まずはc面サファイア基板上において α -(Al,Ga) $_2\text{O}_3$ 、 α -(In,Ga) $_2\text{O}_3$ の混晶薄膜の作製を行い、それぞれ透過率測定結果よりバンドギャップの組成依存性を確認し、バンドギャップエンジニアリングに成功した。また、 α -(Al,Ga) $_2\text{O}_3$ 混晶薄膜は0006ピークにおけるXRCの半値幅が全Al組成領域において300arcsec以下とc軸配向性が高く、さらに α -(Al,Ga) $_2\text{O}_3$ / α - Ga_2O_3 界面の断面TEM観察から顕著な結晶格子の乱れが確認されない、非常に良好な界面を形成する事を確認した。電子走行層である α - Ga_2O_3 と絶縁層である α -(Al,Ga) $_2\text{O}_3$ が良好な界面を形成する事から、 α - Ga_2O_3 をベースとしたパワーデバイスへの応用可能性を示す結果であった。

さらに、 α - Ga_2O_3 と、弱強磁性体である α - Fe_2O_3 の混晶である α -(Ga,Fe) $_2\text{O}_3$ 混晶に着目し、c面サファイア基板上において高品質薄膜の作製に成功した。そのXRCの半値幅は全Fe濃度領域で100arcsec以下と非常に高いc軸配向性をもち、さらに断面及び平面のTEM観察、TEM-EDX測定の結果から、明瞭な結晶格子を形成しながら、薄膜内に金属間化合物の析出や、濃度が異なるドメインの偏析などが確認されなかった。そして磁化測定結果から、300Kにおいて明瞭なヒステリシスカーブを示し、強磁性を示した（図2）。さらに大阪大学との共同研究により、バンド構造計算から、強磁性起源についての一定の解釈を得た。

このように、バンドギャップ変調のみならず機能付加も可能な系としてコランダム構造酸化物混晶を提案し、その変調及び機能発現を実証する事が出来た。これらの結果は次世代のパワーデバイス開発分野のみならず、スピントロニクス分野における新しいアプローチにつながるものである。

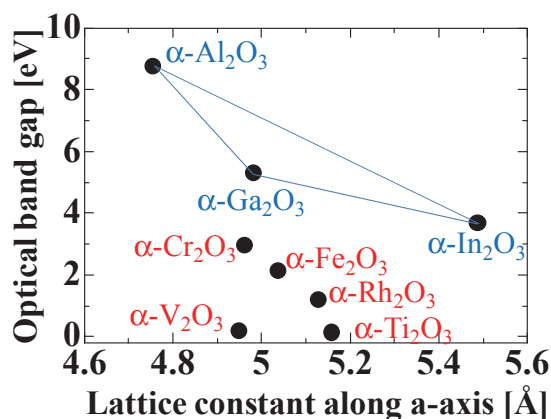


図1 コランダム型構造酸化物による新しい混晶系

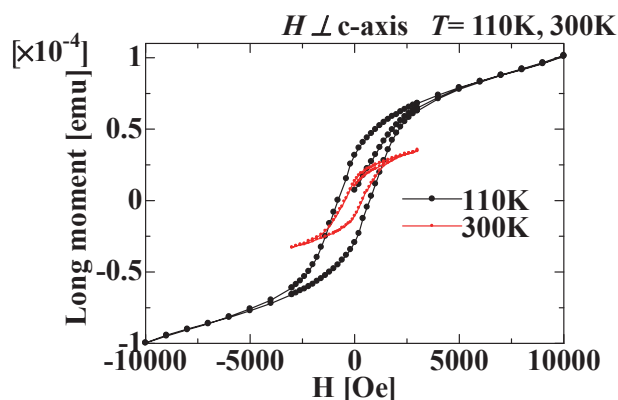


図2 α -(Ga,Fe) $_2\text{O}_3$ 薄膜の110Kと300Kにおける磁気モーメントの磁場強度依存性

原 島 純（黒橋教授）

「Studies on Re-ranking and Summarizing Search Results」

（検索結果の並べ替えと要約に関する研究）

平成 25 年 3 月 25 日授与

現在、ウェブから情報を取得するには、検索エンジンの利用が必要不可欠である。検索エンジンを用いるユーザの情報要求は、クエリと呼ばれる単語のリストで表現される。クエリは次の三つタイプに分類できる。

- ・誘導型のクエリ … 特定のサイトやウェブページに到達するためのクエリ
- ・取引型のクエリ … 商品の購入や予約など、ウェブ上での何らかの取引を目的としたクエリ
- ・情報型のクエリ … 広く情報を収集するためのクエリ

クエリの多くが情報型だと言われている。しかし、既存の検索エンジンは、検索した文書のリストを返すのみであり、情報収集に十分有用であるとは言えない。

本研究では、ユーザの情報収集を支援する種々の手法の開発に取り組んだ。まず、検索結果をリランキングする新しい手法を提案した。既存のリランキング手法では、文書の表層に現れる単語の情報のみを用いてリランキングを行う。一方、提案手法では、トピックモデルを用いて、文書に潜在する単語の情報も用いてリランキングを行う。実験の結果、文書の潜在的な情報がリランキングに有効であることが示された。

次に、検索結果からクエリに関する要約を生成する手法を開発した。検索結果から情報を収集するためには、検索された各文書に目を通さなければならない。これは非常に骨の折れる作業である。本研究では、トピックモデルを用いて検索結果からクエリに関する重要文を抽出し、トピック毎に要約を生成する手法を提案した。実験の結果、提案手法によって生成された要約が、クエリに関する情報を収集するのに有効であることが分かった。

最後に、日本語文を圧縮する新しい手法を提案した。要約は、できるだけコンパクトな方が良い。そのような要約を生成するためには、重要文を抽出するだけでなく、抽出した文を圧縮する必要がある。しかし、日本語文に対する既存の圧縮手法は、文節から情報量の小さい単語を除いたり、文法的な圧縮文をつくったりする能力に欠ける。本研究では、ラグランジュ緩和を用いて、文節から情報量の低い単語を除きつつ、文法的な圧縮文を生成する手法を提案した。実験の結果、提案手法が、情報量と文法性を保ちつつ、文を柔軟に圧縮できることが示された。

以上のように、本研究では文書のリランキングと要約、日本語文の圧縮に取り組み、その解法を提示した。今後は、本研究での成果を実社会に還元し、ユーザの情報収集を支援していきたいと考えている。

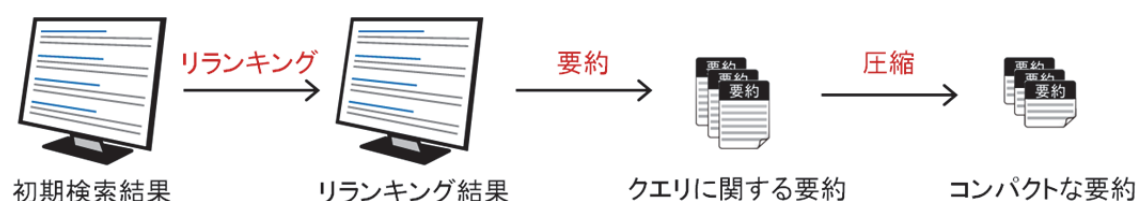


図 3 本研究の取り組み

佐 方 連 (吉田教授)

「A Study of Flexible Cognitive Radio with Software Defined Radio and Dynamic Spectrum Access」

(ソフトウェア無線及びダイナミックスペクトラムアクセスを用いた柔軟なコグニティブ無線の研究)

平成 25 年 3 月 25 日授与

近年、無線通信の高速化に伴う周波数帯域の逼迫を背景に、限りある周波数資源を有効利用することが可能なコグニティブ無線システムが注目を集めている。ヘテロジニアス型コグニティブ無線システムでは、利用可能な複数の無線システムの中から最適な無線システムを選択して利用することでトラヒックを分散する。またホワイトスペース型コグニティブ無線システムでは、地理的及び時間的に利用されていない周波数帯域を一時的に活用することで周波数利用効率の向上を目指す。しかし、ヘテロジニアス型コグニティブ無線システムでは、複数の無線システムを搭載することによる装置の大型化が問題となる。一方、ホワイトスペース型コグニティブ無線システムでは、動的な周波数利用を常時リアルタイムに制御できる制御通信方式が必要になるという問題がある。そこで本論文は、コグニティブ無線システムの実現に向けて上記問題の解決に取り組んだ。

まずヘテロジニアス型コグニティブ無線システムにおいて装置が大型化する問題を、ソフトウェア無線技術により解決した。移動端末の小型化の要求に応えるため、動作を止めることなくリアルタイムに処理を変更できるダイナミックリコンフィグプロセッサを2つないし3つ搭載することを提案し、昨今の高速移動体通信システムであるLTE (Long Term Evolution) 等の変復調処理を、処理量の観点から現実的な範囲でソフトウェア処理できる見込みを示した。

次に、周囲の周波数利用状況に合わせて動的にキャリア周波数を変化させながら通信するホワイトスペース型コグニティブ無線システムにおける制御信号伝送手段を検討した。新たにシステムに参加する端末や通信が途絶えてしまった端末が、利用中のキャリア周波数を知るために、キャリア周波数情報の詳細な取り決め無くとも情報伝送が可能なDCPT (Differential Code Parallel Transmission) 方式を提案した。図1に示すように、DCPT方式では、送信機は予め取り決めた周波数差を持つ2つの周波数を利用して情報を送信する。受信機は、受信信号と、周波数シフトした受信信号との相関を求めることで、送信機が利用した周波数を知らなくとも情報を再生できる。理論検討及び計算機シミュレーション検討により、他の干渉信号の存在する環境下でも信号伝送が可能なことを示した。

さらにDCPTの改良方式として、伝送時間の短縮が可能なDCPT - ABF (DCPT-Adaptive Bandpass Filter) 方式を検討した。DCPT方式では、受信信号中に含まれる広帯域で多量の雑音信号や干渉信号により所望信号の品質が劣化する。もし所望信号のキャリア周波数周辺のみを通過させるバンドパスフィルタを受信時に利用できれば問題は解決するが、キャリア周波数そのものが未知な所望信号を受信するDCPT方式では実現は容易ではない。そこで教師信号による学習を通じて周波数特性の改善等が可能な適応等化器に着目し、受信信号を教師信号、周波数シフトした信号を入力信号として学習し、あるいは双方の信号を入れ替えて学習させることを提案し、DCPT方式に比べ伝送に掛かる時間を12%にまで削減できることを示した。

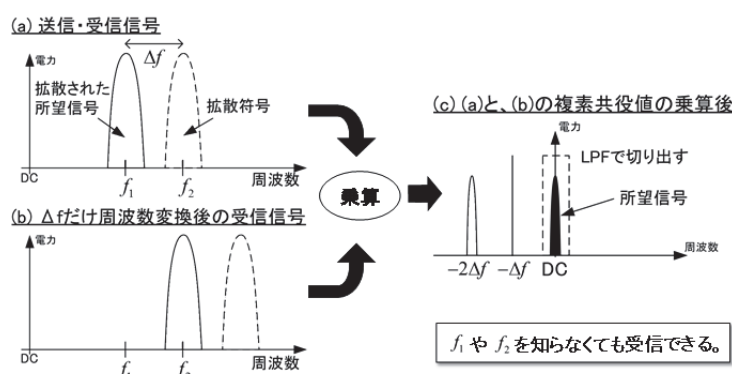


図1：DCPT方式の送受信信号と動作原理

服 部 有里子 (吉田教授)

「ITS 無線情報システムの高度化に関する研究」

平成 25 年 3 月 25 日授与

ITS (高度道路交通システム) は、進展著しい情報通信技術の利活用により、安全・安心・快適で、効率的かつ利便性が高く、環境にも優しい道路交通社会を実現することを狙っており、今後の展開が大いに期待されている。とりわけ、モバイル通信を駆使した ITS 無線情報システムでは、多様な無線通信方式の中から個々の要求に応じた適切な無線方式を選択、組み合わせることにより、必要とされる機能の実現を図ることが必要となる。本論文は、ITS 無線情報システムにおけるいくつかの代表的な利活用の事例を取り上げ、それぞれの事例について、システムの高度化を実現する上での課題を明らかにするとともに、その具体的な解決策を提案し、実証実験で確認するものである。

実際、ITS サービスに求められる伝送情報量の増大、高レスポンス性、高信頼性、高いセキュリティに対応するため、それぞれの無線方式特有の通信性能を踏まえた上で、以下の課題を解決していく必要がある。

- 1) 路車間通信での高信頼・高効率な通信の提供、シャドウイング等に伴う回線劣化が存在する場合の安定したサービスの提供
- 2) 利用者が必要な情報を安定してシームレスに伝送、車のネットワーク化による車両内のセンシング情報の連続的収集と車両の遠隔操作
- 3) IP (Internet Protocol) 系と非 IP 系のスムーズな連携による、実際のサービス窓口でのサービス時間短縮
- 4) 路車間通信と IC カードアクセスの連携による、高速で高セキュリティな情報伝送

上記に対する研究成果として、1) の研究では、同報通信と個別通信が混在する小ゾーン (直径 20 ~ 30m) 路車間通信の高信頼度化、高効率化について検討を行った。5.8GHz 帯 DSRC (専用狭域通信) を仮定して、近接大型車両などに起因するシャドウイング等に伴う回線劣化が存在する場合でも、移動局側の通信接続管理タイマーの制御を工夫することにより、路車間回線接続確率を高めるとともに、基地局の移動局に対する通信接続維持管理手段に工夫を加えることにより、通信帯域の一層の効率的な利用が図れることを実証実験により明らかにした。例えば、100km/h の高速移動車両に対し、同報通信の安全運転支援情報サービスと個別通信のプロープ情報サービスを同時に提供できることを実証した。

2) の研究では、EV (電気自動車) の特徴を生かした ITS サービスの提供を狙いとして、3.5 世代広域携帯網、路車間通信 DSRC、車載ネットワークを統合したネットワークの構築を提案するとともに、それに適した通信プロトコルの開発を行った。これにより、情報センタおよび路側無線装置から車載器を介して車両データの読み出しや車両の遠隔操作が可能となり、例えば、EV のバッテリー残量を連続的に収集して車両内に情報提供することや、充電ステーションでの最適な充電スケジューリング等に利用できることを明らかにした。

3) の研究では、車両内からのインターネット利用について検討し、カーナビゲーションからインターネット経由で情報を登録し、実際のサービス窓口でサービスの提供を受ける、IP 通信と非 IP 通信を連携するシステムを提案、構築した。ドライブスルー実店舗で実証実験を行い、車両が注文窓口に来てから注文確定と支払が完了するまでの処理時間が現行より 50% 削減され、利用者の待ち時間が短縮できることを実証した。

4) の研究では、路車間通信と IC カードアクセスの連携技術について検討し、DSRC 通信エリア内でのみカードアクセス処理ができる、DSRC と非接触式 IC カードを連携する通信プロトコルを提案した。DSRC と非接触式 IC カードをベースとした道路課金システムにより、複数の高セキュリティ非接触式 IC カードに対応して、車速 80km/h で料金収受をセキュアに完了することを実証した。

以上要するに本論文は、ITS サービスのいくつかの事例を取り上げ、最新の情報通信技術を駆使したそれらの高度化に関する研究成果を取りまとめたものである。

熊 谷 崇（高橋教授）

「移動通信網における位置情報管理技術を用いた通信・放送の高品質化」

平成 25 年 3 月 25 日授与

携帯電話網の LTE や WiMAX などの普及により、移動通信網の利用人口は年々増加している。この移動通信の実現には、ネットワーク側が端末位置を常に把握して通信を確立する、位置情報管理技術が必要不可欠である。本論文は、移動通信網の位置情報管理技術に着目し、“性能改善”並びに“応用”という二つの観点で、移動通信および放送受信の高品質化について研究し、まとめたものである。

1. 位置情報管理技術の性能改善

IP ベースの位置情報管理技術である Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6) は、ローカルドメインで端末位置情報を管理する Mobility Anchor Point (MAP) への負荷集中や、ホームネットワークで端末の担当 MAP 情報を管理する Home Agent (HA) への位置登録に起因するバースト的なパケットロスなどの課題がある。そこで、多階層 MAP を用いた二方式を提案する。“多階層 MAP における自律的負荷分散方式”は、端末の移動モデルに依存せず、MAP の負荷分散を実現する。また、端末の担当 MAP 割り当てに移動速度を考慮することで、HA への位置登録 Binding Update (BU) 数を削減する。次に、“端末の移動履歴を用いた位置情報管理法”は、Access Router が端末の移動履歴を用い、移動範囲に基づいた適切な MAP を選択する。MAP の変更回数を最低限に抑え、HA への BU 数および制御トラフィック量を削減する。

2. 位置情報管理技術の応用

本論文では、“地上デジタル放送”並びに“コグニティブ無線”への応用による、各技術の高品質化について議論する。まず、地上波放送の移動受信では、放送局間ハンドオーバの度にチャンネルスキャンが伴うなど、移動中の継続視聴に課題がある。提案する“HMIPv6 技術を用いた移動放送受信ハンドオーバ方式”では、MAP がドメイン内の放送チャンネル情報を集約し、通信ハンドオーバ時に端末へ通知する。放送局間ハンドオーバを行う端末は、通知された情報を用いて選局し、速やかに視聴を再開できる。次に、コグニティブ無線における放送用周波数共用では、既存の放送受信設備に混信を与えないことが前提となる。本論文で提案する“端末の移動を考慮した利用可能スペクトル情報生成方式”は、携帯電話網の基地局 ID を用い、サー

バに蓄積される放送波検知情報を基地局単位に集約し、セル内の放送受信可能チャンネルを記載した放送受信リストを生成する。各端末は、基地局間ハンドオーバ時に基地局 ID を基に該当セルのリストを取得し、センシングを行う。この方式は、放送受信設備に対する混信を軽減し、移動通信の通信容量を増大できる。また、セル内移動中の周波数共用を可能とし、移動通信の利便性向上が期待される。

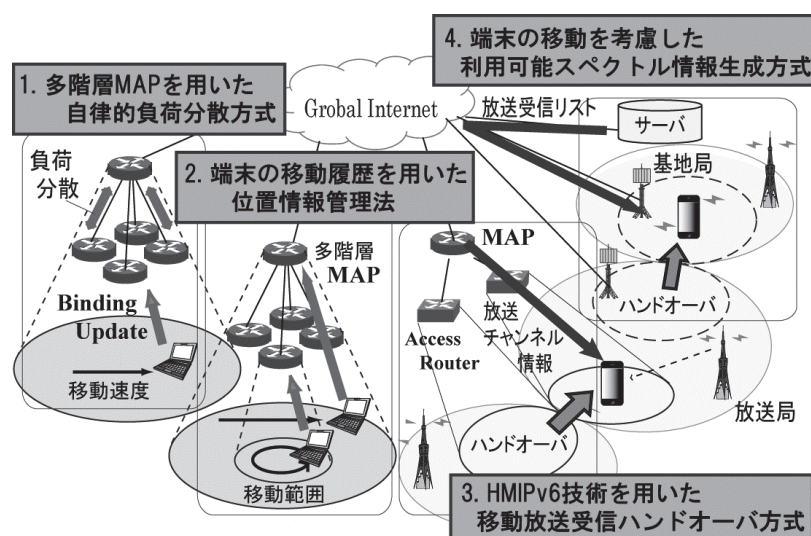


図. 博士論文の概要

西 尾 理 志（高橋教授）

「Cooperative Resource Sharing toward Mobile Cloud」

（モバイルクラウドに向けた資源協調利用の検討）

平成 25 年 3 月 25 日授与

近年のモバイル端末の普及は目覚ましく、モバイルアプリケーションを通して様々なサービスが提供されている。一方、モバイル端末の計算資源や帯域などの通信資源は限られており、サービスや通信品質の制約となっている。本論文は、図 1,2 に示すモバイルクラウドの実現に不可欠なノード間資源協調利用機構を研究対象とし、以下の 3 点についてまとめている。

1. 無線 LAN における通信帯域協調利用機構

無線 LAN を対象とし、端末から基地局へ向かう上り通信、および、基地局から端末へ向かう下り通信のそれぞれに対し、帯域協調利用機構を提案している。上り通信では、端末側の MAC 層プロトコルにおいて、無線 LAN 標準規格の制御機能を拡張することで、任意の量の帯域を端末間で融通するメカニズムを実現している。一方、下り通信では、TCP (transmission control protocol) の輻輳ウィンドウを制御することで、特定の端末間で通信帯域を提供し合う方式を提案している。両方式とも、無線 LAN 基地局に変更を加えることなく実現可能である。計算機シミュレーションにより、他の端末の通信スループットを低下させることなく、端末間で柔軟にスループットを融通できることを確認している。

2. モバイルノード間での異種資源協調利用機構

モバイルノードの持つ、計算資源、通信資源、ストレージ資源、センサー情報資源などの様々な資源を共有するメカニズムについて検討している。通信や計算タスクの処理によるサービス享受までの待ち時間に基づき、次元の異なる各種の資源共有に対する効用を統一的に評価している。また、地理的距離と資源共有の効用のトレードオフをモデル化し、協調のインセンティブを考慮した最適化問題を設計することで、最適な資源共有メカニズムを導いている。

3. 資源利用予測のための社会的コンテキスト変化検出

人と人との関係のみならず、場所、趣味、イベントなどのあらゆる社会的オブジェクト間の社会的・地理的關係性を用いることで、効率的な資源の利用が可能となる。本論文では、特に社会的コンテキストの変化を検出する手法を提案している。提案手法では、社会的オブジェクト間の社会的關係性および地理的關係性をグラフにより表現する。グラフの変化から、コンテキスト変化を検知し資源の割り当て制御を行う。提案しているコンテキスト変化検出手法は、事前に参照モデルを構築することなく、あらゆる種類の社会的オブジェクトを一元的に取り扱うことができる。

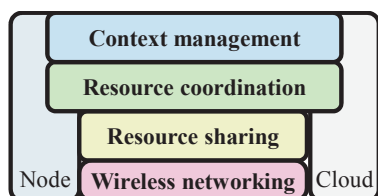


図 1：モバイルクラウドレイヤモデル

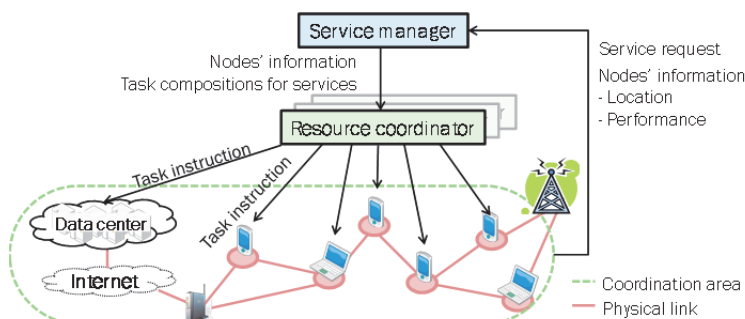


図 2：モバイルクラウドシステムモデル

李 炫 庸 (水内教授)

「Study on Effect of Magnetic Field Configuration on Parallel Plasma Flow during Neutral Beam Injection in Heliotron J」

(ヘリオトロンJにおける中性粒子ビーム入射加熱プラズマ中の平行プラズマ流に及ぼす閉じ込め磁場配位の影響に関する研究)

平成 25 年 3 月 25 日授与

近年、新たな一次エネルギー源の一つとして核融合エネルギーの研究が活発になされている。プラズマ流は核融合プラズマの電磁流体力学的な安定性及び性能向上に重要な役割をするため、プラズマ流の決定機構について様々な研究がなされてきた。本研究では、閉じ込め磁場配位と平行プラズマ流の関連性に関する知見が不足しているステラレータ／ヘリオトロン磁場配位において、3次元磁場構造を持つ閉じ込め磁場配位が平行プラズマ流に及ぼす影響を実験的に調べた。

本研究では、ヘリオトロンJにおける平行プラズマ流計測のために荷電交換再結合分光計測 (CXRS) システムを開発した。このシステムはプラズマ全領域を計測できるように視線を設けた。また、中性粒子ビーム (NB) を用いることで局所計測も可能とし、検出器として CCD カメラを用いることで時間分解能は 10ms 以下にした。同じ磁気面において、複数視線を用いた計測と中性粒子分析器の計測結果との比較を行うことで、平行プラズマ流及びイオン温度計測の妥当性を示した。

非軸対称性の異なる 3つの磁場配位 (High, Standard and Reversed mirror) の中性粒子ビーム入射加熱プラズマにおいて平行プラズマ流の計測を行った。非軸対称性の大きい High mirror 配位で計測された平行プラズマ流速は他の 2つの配位より約 2-3 倍小さかった。その原因を調べるために、NB による駆動力及び減速力を調べた。図 1 に示すように駆動力を変化させた実験より、各磁場配位間の駆動力の差は少なく、平行プラズマ流速の差は減速力が起因することが示唆された。中性粒子ビームによる駆動力は FIT コードに用いて求めた。また、減速力のソースを調べるために K.C. Shaing の解析モデルを用いて参考粘性を計算し、計測した平行プラズマ流速から求めた実験的な粘性と桁比較を行った。参考粘性と実験的な粘性は同様な傾向を示したことから、新古典粘性が 3つの磁場配位における平行プラズマ流の差に寄与していることが示唆された。

以上の結果は、3次元磁場構造を持つステラレータ／ヘリオトロン磁場配位におけるプラズマ流の決定機構を理解する上で、重要な役割を果たすものである。今後、詳細な新古典粘性の計算を行うことで、実験結果との定量比較や減速力の詳細なソースなどの知見が得られることが期待できる。

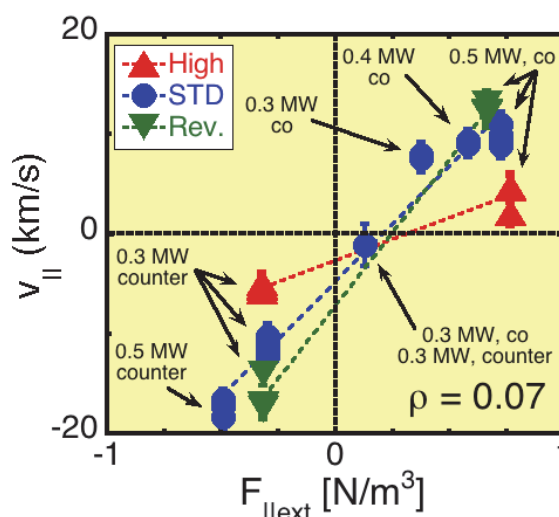


図 1. 駆動カスキャン実験の結果

顔 偉 達 (下田教授)

「A Study on Augmented Reality for Supporting Decommissioning Work of Nuclear Power Plants」

(原子力発電プラントの解体作業支援のための拡張現実感に関する研究)

平成 25 年 5 月 23 日授与

原子力発電プラントは放射性物質を取り扱うことから、十分に安全への対策を講じた上で解体される必要がある。そこで、解体作業時に必要な確認作業を支援する方法の一つとして、拡張現実感技術を利用する方法が考えられる。

拡張現実感技術とは、カメラで捉えた現実世界の映像にコンピュータで生成した情報を重畳表示する技術であり、直感的に理解しやすい形でユーザに情報提示を行うことができる。拡張現実感を実現するためには、作業員の位置と向いている方向を正確かつリアルタイムで計測するトラッキング技術が必要になるが、本研究ではマーカと呼ばれる人工的に作成した特殊な模様を手がかりにトラッキングを実現するマーカトラッキングという方法を応用し、原子力プラントのような広範囲で複雑な環境でも利用可能な新しい円形マーカを設計した。このようなマーカを原子力プラント内で利用するためには、多数のマーカを環境に貼り付け、事前にその3次元位置を計測する必要があるが、レーザーレンジファインダ、ビデオカメラ、電動雲台等を組み合わせて、これを自動的に計測するシステムも同時に開発した。

しかし、原子力プラント構内には、狭隘なところや高いところでマーカの貼付と計測が難しい場所もある。そこで、マーカトラッキングだけではなく、マーカを用いないトラッキング技術の開発も進めた。ここでは、カメラで撮影した環境映像から直線を検出し、事前にデータベースに登録している特徴線に対応させることで、カメラの3次元位置と方向を計算する特徴線トラッキング方法を実現した。

さらに、解体作業を支援するための拡張現実感の有用性を評価するため、上記のトラッキング技術を利用したプラント解体計画支援システムを開発した。このシステムは、二つのサブシステム構成されている。一つはモデリングサブシステムであり、解体作業計画時に現在の作業環境の3次元形状を自動的に計測し、そのデータを用いて作業シミュレーションに必要な作業環境および解体機器の形状モデルを作成するものである。一方、作業検証サブシステムは、得られた形状モデルを用いて、狭隘な作業環境と解体機器の接触を確認しながら解体・運搬作業をシミュレーションし、拡張現実感技術を利用してその様子を作業現場で可視化することができる。本研究により得られた知見は、今後の解体シミュレーションやその可視化技術など、解体作業支援システムを開発していく際の設計指針の一つになると考えられる。

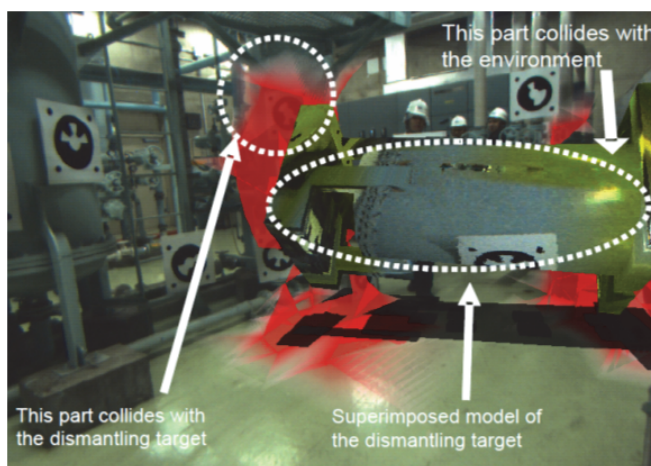


図 1：解体支援シミュレーション

児 島 貴 徳 (野田教授)

「光学顕微イメージングを用いた単一量子ドット・フォトニック結晶ナノ構造結合系の作製および基礎特性評価」

平成 25 年 7 月 23 日授与

半導体量子ドット (QD) と微小光共振器の結合系は、固体中における共振器量子電磁力学 (CQED) のプラットフォームとして注目を集めている。CQED に特有の種々の現象は、量子情報処理素子や高効率単一光子光源、無閾値レーザなど様々な新しい応用が期待される。フォトニック結晶と QD を組み合わせる研究は、QD として InAs/GaAs 自己形成 QD、フォトニック結晶として GaAs2 次元スラブフォトニック結晶を用いて行われてきたが、自己形成 QD の形成位置がランダムであることから、フォトニック結晶構造と QD の相対位置を制御することはできなかった。また、フォトニック結晶構造中の所望の位置に QD が必ず含まれるように比較的高密度な QD が用いられており、所望の位置にも、意図しない位置にも多数の QD が存在する状況で種々の実験的検討がなされてきた。しかし、上述のような応用への展開を考えると、フォトニック結晶構造中の所望の位置にのみ単一の QD を配置することが必須であり、これまで用いられてきた多数の QD が存在する環境は理想的ではなかった。

このため本論文では、単一の QD がフォトニック結晶ナノ構造、特にナノ共振器の内部に存在している系の実現と、その基礎特性の評価を行った。極低密度 QD のフォトルミネッセンスを直接イメージングすることでその位置および波長を特定し、それに合わせたフォトニック結晶構造を作製することで、単一 QD をフォトニック結晶構造中の所望の位置に配置し (図 1)、CQED に特有な現象の一つである、単一 QD・フォトニック結晶ナノ共振器間の強結合状態の創出に成功した (図 2)。

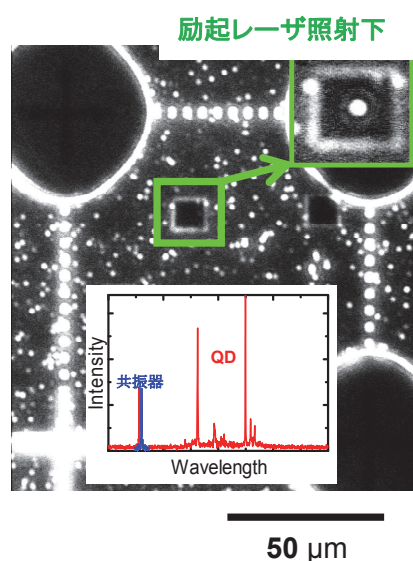


図 1: 位置合わせ QD・ナノ共振器の光学顕微鏡像。挿入図はそのフォトルミネッセンススペクトル。

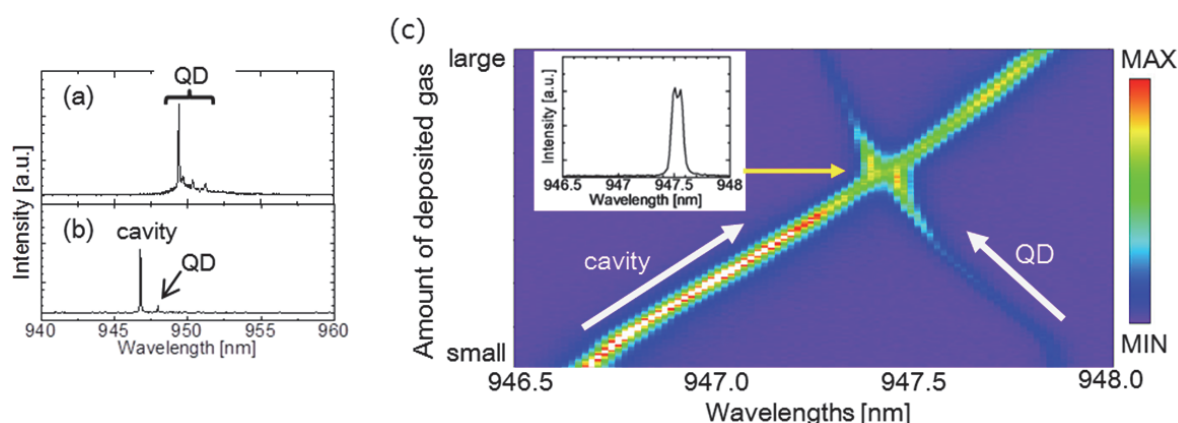


図 2: フォトニック結晶加工前 (a) と後 (b) の QD の低温フォトルミネッセンス (PL) スペクトル。946.8 nm 付近のピークが共振モードである。(c) 共振器・QD 間の波長差を変えながら測定した PL スペクトルのカラープロット。波長差の制御は共振器へのガス堆積を用いた屈折率変化による。波長差が 0 になるときにスペクトルの反交差が生じており、この共振器と QD が強結合状態にあることを示している。スペクトル分裂幅は 67 pm であった。

細 江 陽 平 (萩原教授)

「Discrete-Time Noncausal Linear Periodically Time-Varying Scaling for Robustness Analysis and Controller Synthesis」

(ロバスト性解析と制御器設計のための離散時間非因果的周期時変スケーリング)

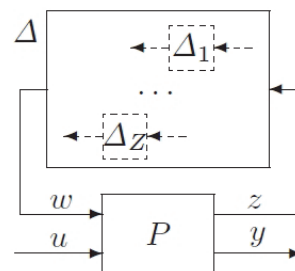
平成 25 年 9 月 24 日授与

現実の制御対象の制御理論に基づく制御においては、その対象を伝達関数や状態方程式でまずモデル化するのが一般的である。しかし、現実の対象は、物理パラメータに関する不正確さや非線形性等の取り扱いの厄介な要因を含んでおり、そのような側面を含めて厳密なモデル化を行うことは事実上、不可能である。したがって、あらかじめ現実の制御対象とそのモデルの間にずれが生じてよいような不確かさを想定し（右図参照）、その取り扱いのもとで制御器を設計（あるいは制御系を解析）することが制御の実応用上重要になる。本研究は、上記不確かさに対処するためのアプローチの一つであるロバスト制御理論に関するものである。ロバスト制御理論は鉄鋼業や化学プラントにおける各種プロセス、人工衛星の姿勢制御やハードディスクのヘッド位置制御等、応用先は極めて広範である。

本研究ではまず、ロバスト性の中でもっとも基本的な性質であるロバスト安定性の解析において有効であることが示されている静的非因果的周期時変スケーリングという手法を、ロバスト制御器設計へ応用することを検討した。ただし、制御器設計においてロバスト安定性のみを考慮すると、制御系の応答が現実には許容できないほど振動的になってしまう恐れがある。そこで、本研究ではそのような振動の抑制を目的とし、ロバスト安定性だけでなくロバスト H_∞ 性能も同時に考慮するような制御器設計法を整備した。整備した設計法の有効性は、静的非因果的周期時変スケーリングが理論的に有する特徴を踏まえつつ、数値例を通して検証した。また、振子長が可変である台車型倒立振子に対して振子長に依らない単一の制御器を設計して実験を行うことにより、その設計法が実用上も効果を発揮することを確かめた。

また本研究では、非因果的周期時変スケーリングの特徴を明らかにするためのより理論的な課題も遂行した。非因果的周期時変スケーリングはリフティングと呼ばれる時間的な操作を介して導入される。本研究では、リフティングのタイミングという視点を新たに導入し、それに関するシフト不変性という概念をさらに導入した。そして、因果的時不変スケーリングとして特徴づけられる従来手法はシフト不変性を有するのに対して、非因果的周期時変スケーリングは一般にシフト不変性を持たないことを示した。また、シフト不変性を持たない後者のスケーリングからシフト不変性を持つスケーリングを自然に導くシフト不変化という操作を考えると、非因果的周期時変スケーリングをシフト不変化して得られるスケーリングは、従来の枠組の中に収まるあるクラスの動的なスケーリングと等価になると同時に、それがもとの非因果的周期時変スケーリングのロバスト安定解析における精度に関する能力の一つの限界を与えることを示した。

また、本研究では非因果的周期時変スケーリングの特徴をさらに、上記の議論とは異なる観点から明らかにした。具体的には、ロバスト安定解析の対象となる系を無限行列で表現する枠組を考え、リフティングを介す非因果的周期時変スケーリングと介さない従来の因果的時不変スケーリングとの間に成り立つ関係を、その枠組のもとで明らかにした。上記 2 つのスケーリング手法は、それぞれ異なる時間軸上で定義されているため、それら相互の関係を直接的に考察することがこれまで容易でなかった。しかし、それら 2 つのスケーリング手法はいずれも無限行列表現に基づく統一的枠組で解釈することが可能であり、そのような視点を通して 2 つのスケーリング手法を比較することが可能である。得られた成果は数値例によりその妥当性を検証した。以上を通して、非因果的周期時変スケーリングに基づくロバスト制御に関する理論基盤を包括的に整備した。



図：不確かさ Δ を含む
制御対象のモデル

山 口 辰 久 (松山教授)

「3D Video Capture of a Moving Object in a Wide Area Using Active Cameras」

(能動カメラ群を用いた広域移動対象の3次元ビデオ撮影)

平成 25 年 9 月 24 日授与

3次元ビデオは、3Dテレビのように飛び出して見える立体映像や、CGによる仮想的な3Dアニメーションではなく、運動する対象のありのままの姿・動きを（裏側も含め）完全な3次元映像として記録したものである。3次元ビデオを撮影するには、対象を多数の異なった視点から同時かつ高精細に（2D）ビデオ撮影する必要があり、従来の固定カメラを用いたシステムでは広範囲を移動する対象を撮影することは困難であった。本研究は、広域移動対象の3次元ビデオ撮影を実現するための方法として、多数の能動カメラが互いに協調しながら対象をリアルタイムに追跡撮影するという方式を提案し、そのための分散協調型カメラ制御アルゴリズムについてまとめたものであり、得られた成果は以下の通りである。

(1) 3次元ビデオ撮影に用いられる多視点ビデオ映像が満たすべき要件が、(1) 対象表面を全ての方向からくまなく撮影していること、(2) 対象表面を十分な解像度で撮影していること、(3) ビデオ撮影に用いる各カメラのパラメータが正確に得られること、の3点であることを明らかにした。

(2) 従来困難であった広域移動対象の3次元ビデオ撮影法として、多数の能動カメラ群を分散協調的に制御するという考え方を採用し、それを実現するための具体的アイデアとして、移動可能空間のセル分割、セルに基づいた能動カメラ群の分散協調型対象追跡撮影アルゴリズム（図1）を考案し、これによって上記3次元ビデオ撮影の3要件を全て満たすことができることを示した。

(3) セル方式に基づいた具体的な追跡撮影法として、①移動可能空間を六角形セルに分割、②セル集合およびカメラ群をそれぞれ3つのグループに分割、③対象が存在するセルとその最近傍の2セルを常に3つのカメラグループが撮影するようにカメラ群をリアルタイム制御する、というアルゴリズムを考案し、実際のスタジオでの実験により、提案アルゴリズムによって3次元ビデオ撮影に求められる3要件を満たしつつ、自由に移動する対象の追跡撮影が可能であることを実証した。また本アルゴリズムがフィギュアスケートリンクといった数十メートル規模の範囲を高速に移動する対象にも適用可能であることを示すため、能動カメラ群の特性・配置が与えられた際のセルサイズ設計法を解析的に導き、その妥当性をシミュレーションによって示した。

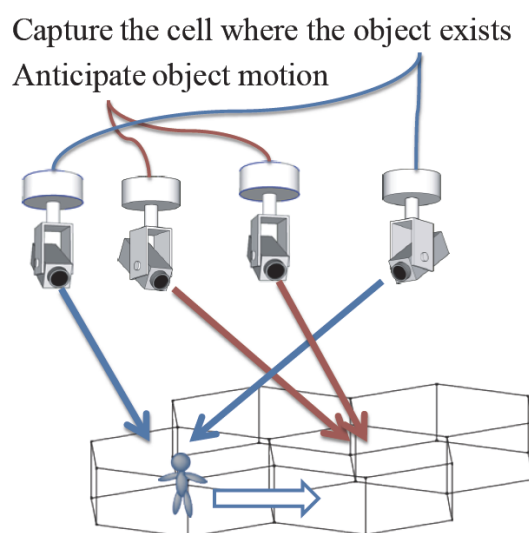


図1：セルに基づいた能動カメラ群の分散協調型対象追跡撮影アルゴリズム

藤 原 亮 介 (山川教授)

「Study on Accurate Ranging and Positioning System with UWB-IR Technology」
(UWB-IR を用いた高精度測距・測位システムの開発)

平成 25 年 3 月 25 日授与

本論文は、ウルトラワイドバンド・インパルスラジオ (UWB - IR) 方式を用いたセンサネット向けの測位システムに関して新しい測位方式と無線通信方式・送受信機アーキテクチャを考案し、その開発と評価を論じた結果をまとめたものであって、7 章からなっている。本論文は、測位機能を有した UWB - IR 送受信機とそれを利用した測位システムについて、センサネットに適応できるシステム構築を目標に研究した成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 従来の測位方式では、基地局間あるいは基地局・ノード間でナノ秒オーダーの高精度な同期が必要であるか、あるいは通信回数や基地局を増やして同期を不要にする必要があったが、同期が不要でかつ通信回数、基地局数を余分に必要としない TOA / TDOA (Time of Arrival / Time Difference of Arrival) ハイブリッド方式を考案した。
2. CMOS プロセスで実装可能でありかつ低消費電力な受信機構成を可能にする低パルス繰り返し周波数、2 段階直接拡散方式及び差動符号化を行う通信方式を考案した。
3. 低消費電力かつ低コストで実装可能な受信機構成を考案した。特にパルス繰り返し周波数サンプリングとシリアルサーチとマッチトフィルタを併用した高速同期捕捉及び同期保持手法を考案した。
4. 上記受信機構成を利用し、簡易な構成かつ波形推定のためにメモリ量を多く必要としない第一パス到来信号時間計測手法を考案した。
5. 考案した送受信機を CMOS プロセスで 1 チップ化し、トランシーバモジュールを開発した。それらを用いて測距システム及び測位システムを実際に構築し、実測により評価を行うことにより考案する測位システムの実証を行った。

以上より、本論文は、これまで困難であった CMOS プロセスによる測位システム向けの UWB - IR 送受信機トランシーバの開発とセンサネット向けに実用性の高い測位システム方式の考案を行っている。